

Geochemie und Petrologie  
Oberpfälzer Olivinnephelinite,  
Nephelinbasanite und ihrer  
Ultramafiteinschlüsse

Theofanis Noussinanos

1973  
—



GEOCHEMIE UND PETROLOGIE OBERPFÄLZER OLIVINNEPHELINITE,  
NEPHELINBASANITE UND IHRER ULTRAMAFITEINSCHLÜSSE

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Fakultät für Geowissenschaften

der Ludwig - Maximilians - Universität in München

vorgelegt von

Theofanis Noussinanos

München 1973



1. Berichterstatter: Prof.Dr.H.G.Huckenholz

2. Berichterstatter: Prof.Dr.D.D.Klemm

Tag der mündlichen Prüfung: **22.** Mai 1973

# INHALTSVERZEICHNIS

|      |                                                                     |    |
|------|---------------------------------------------------------------------|----|
| I.   | Einführung                                                          | 1  |
| II.  | Petrographie der untersuchten Alkalibasalte                         | 3  |
| III. | Petrochemie der untersuchten Alkalibasalte                          | 15 |
| IV.  | Detailuntersuchungen am Olivinnephelinit vom Stbr.<br>Teichelberg   | 16 |
| V.   | Die Ultramafiteinschlüsse                                           |    |
| A.   | Petrographie                                                        | 22 |
| B.   | Petrochemie                                                         | 25 |
| VI.  | Diskussion                                                          |    |
| A.   | Nomenklatur                                                         |    |
| 1)   | Die Alkalibasalte                                                   | 26 |
| 2)   | Die Ultramafiteinschlüsse                                           | 28 |
| 3)   | Die Minerale der Alkalibasalte und Ultramafiteinschlüsse            |    |
| a)   | Olivin                                                              | 29 |
| b)   | Klinopyroxene der Alkalibasalte                                     | 29 |
| c)   | Die Klinopyroxene und Orthopyroxene der Ultramafit-<br>einschlüsse  | 30 |
| B.   | Geochemie                                                           |    |
| 1)   | Das Verhalten der Haupt - und Spurenelemente der Alkali-<br>basalte | 31 |
| 2)   | Das Verhalten der Elemente in den Mineralen                         |    |
| a)   | Olivin                                                              | 40 |
| b)   | Klinopyroxen                                                        | 45 |

|       |                                                                                 |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
|       | c) Nephelin                                                                     | 58 |
|       | d) Plagioklas                                                                   | 59 |
| 3)    | Das Verhalten der Elemente in den Ultramafiteinschlüssen<br>und ihren Mineralen | 60 |
| C.    | Petrogenese                                                                     |    |
| 1)    | Alkalibasalte                                                                   | 73 |
| 2)    | Ultramafiteinschlüsse                                                           | 76 |
| VII.  | Methodisches                                                                    | 79 |
| VIII. | Zusammenfassung                                                                 | 85 |
|       | Literaturverzeichnis                                                            |    |
|       | Anhang                                                                          |    |

## I. Einführung

In dieser Arbeit werden Alkalibasalte und Ultramafiteinschlüsse ( Olivinknollen ) von Vorkommen der Oberpfalz untersucht. Sie gehören zum baye-risch-böhmischen Vulkangebiet, das vom Parkstein bei Weiden, über Rauhen Kulm bei Kemnath, Eger ( Cheb ), bis Duppau ( Doupav ) reicht. Im gesamten Gebiet liegen zwei größere zusammenhängende Komplexe: der Teichelberg und das Böhmisches Mittelgebirge. Zahlreiche Einzelvorkommen sind im ganzen Gebiet verstreut. Die Gesteine gehören zum tertiären Vulkanismus Mitteleuropas. Es sind Alkalibasalte, wobei Olivinnephelinit vorherrscht, untergeordnet kommt Nephelinbasanit vor.

Über die Basalte der Oberpfalz wurden seit dem letzten Jahrhundert Untersuchungen durchgeführt: C.W. Gümbel ( 1879 ), A. Dörr ( 1895 ), P. Merkel ( 1895 ), P. Egenter ( 1910 ), gaben vor allem Übersichten. S. Richarz ( 1920 ) bearbeitete sie ausführlich petrographisch. K. Söllner ( 1958 ) hat einen Teil der Topographischen Karte 1 : 25000 Waldershof ( 6038 ) und einen Teil der Topographischen Karte 1 : 25000 Mitterteich ( 6039 ) geologisch aufgenommen. Seine petrographische Untersuchung behandelt vor allem den Basalt des Großen Teichelberges. H. Strunz u.a. ( 1966 ) bearbeiteten die Mineralien im Basalt von Groschlattengrün ( Stbr. Teichelberg ).

Über die Olivinknollen der Oberpfälzer Basalte berichteten D. Schütz ( 1967 ) und T. Frisch ( 1970 ).

In der vorliegenden Arbeit wird durch geochemische und mineralogisch-petrographische Detailuntersuchungen an den Alkalibasalten und an den wichtigsten Mineralphasen der Versuch unternommen, Aussagen zur Petro-



Von der Untersuchung der Ultramafiteinschlüsse wird in Ergänzung mit ihren Wirtsbasalten eine Aussage über die Herkunft des Magmas erwartet.

## II. Petrographie der untersuchten Alkalibasalte

### Olivinnephelinit vom Großen Teichelberg

Der Große Teichelberg liegt teils auf Blatt Waldershof ( 6038 topographische Karte 1 : 25000 ), teils auf Blatt Mitterteich ( 6039 ). R 45<sub>11960</sub> , H 55<sub>35800</sub> .

Der Basalt bildet eine ungefähr 45 m mächtige Kuppe auf einem Basalttuff. Sein Förderzentrum wurde mit geophysikalischen Messungen ( gravitative Messungen mit Feldwaage ) von K. Söllner ( 1958 ) festgestellt und liegt etwa in der Mitte der Kuppe in der Nähe des 681,8 Höhenpunktes ( Abb. 2 ). Der Basalt ist durch einen Steinbruch erschlossen, der vom N-Rand der Kuppe zum Zentrum vorgetrieben wurde. Die Kuppe ist nahezu zur Hälfte abgebaut. Der heutige Bruch ( 1969 ) baut sich aus drei Etagen von ca. 600 m Länge und insgesamt 43 m in der Höhe auf. Der Basalt zeigt säulige Absonderung.

### Zur Probennahme

Von dem durch den Bruch in drei Etagen aufgeschlossenen Olivinnephelinit wurden für chemische Analysen insgesamt 86 Gesteinsproben gesammelt. Sie ordnen sich auf drei horizontalen übereinanderliegenden Profillinien von jeweils 25 Probenpunkten und einer weiteren horizontalen senkrecht dazu mit 9 Probenpunkten. Weiter wurde von einer Basaltsäule je eine Probe aus der Mitte und vom Rand entnommen ( Abb. 2 ).

Die vier Profile wurden als AA', BB', CC' und C'C'' bezeichnet, wobei AA'

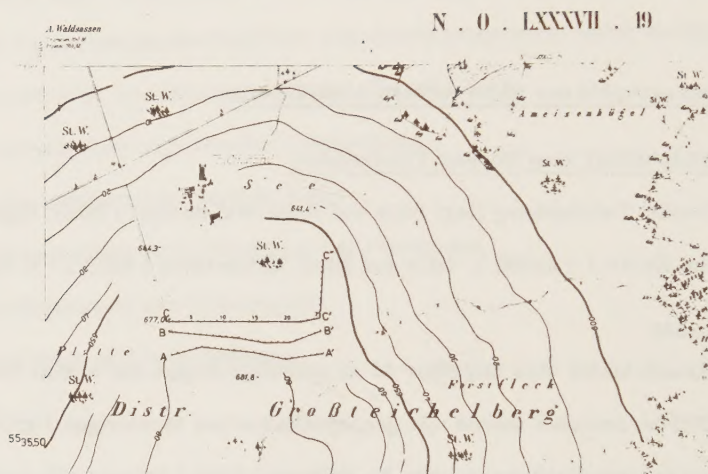


Abb. 2 Kartenausschnitt aus der Flurkarte 1 : 5000 Blatt N. O. LXXXVII. 19  
AA', BB', CC' und C'C'' Profile für die Probennahme.

der oberen Kante des Bruches, BB' der Kante der zweiten Etage und CC' der Kante der ersten Etage entsprechen. C'C'' liegt wiederum auf der ersten Etage, aber senkrecht zum Profil CC'. Die Abstände zweier nebeneinander liegenden Probenpunkte betragen 15 m. Die Proben sind durchgehend von links nach rechts numeriert: 1A, 1B, 1C bis 25A, 25B, 25C und in C'C'' Profil 2C', 3C' bis 10C'. Die von der Mitte der Säule entnommene Probe hat die Nummer 85 und die vom Rand 86.

In der Hauptarbeit werden nur die drei ausgewählten Proben 20A, 20B und 20C ( etwa von der Mitte des Bruches ) behandelt. Für die statistische Verteilung der Elemente von allen 86 Proben wird nur in einem extra Kapitel

dieser Arbeit gesprochen.

Im Handstück sieht der Olivinnephelinit schwarz mit einer etwa ins gräuliche gehenden Farbe aus. Er ist sehr dicht und splittrig und zeigt vereinzelt Olivineinsprenglinge. Er führt Ultramafiteinschlüsse und Bruchstücke mitgerissener Gesteine der Kruste, wie Granit, Mergel und Kalke.

Die Struktur ist holokristallin-porphyrisch und die Minerale sind annähernd regelmäßig verteilt ( Abb. 3 ).

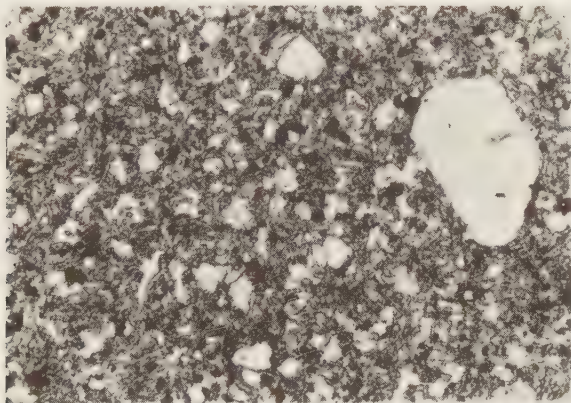


Abb. 3 Dünnschliffphoto. Olivinnephelinit mit Olivineinsprenglingen.

Matrix mit Olivin ( hell ), Augitmikrolith ( hellgrau ), Magnetit ( schwarz ), Nephelin als Zwickelfüllung ( hell ). Länge des Bildausschnittes 1.2 mm. Schliff-Nr. 8904 / 1. Großer Teichelberg.

Als Einsprenglinge kommen chrysolithische Olivine mit einem Durchmesser bis zu 0.1 mm vor. Die Grundmasse setzt sich aus bräunlichen Augitmikrolithen bis 0.05 mm Länge, hellen Nephelinen aus unregelmäßig be-

grenzten Magnetitkörnern und Alkalifeldspat zusammen. Alkalifeldspat wurde nur röntgenographisch nachgewiesen. Akzessorisch treten Biotite, Apatitnadeln und eine Reihe von Kluft- und Drusenmineralen auf. Die Modalanalysen dreier Proben ergaben folgenden Mineralbestand, wobei die Modalprozentage unter Zuhilfenahme der chemischen Analysen der Minerale in Gewichtsprozentage umgerechnet wurden, um Vergleiche mit der chemischen Analyse des Gesamtgesteins zu erhalten.

|     | Ol | Kpx | Ne+Kf+Bi | Erz |
|-----|----|-----|----------|-----|
| 20A | 13 | 62  | 17       | 8   |
| 20B | 13 | 61  | 17       | 8   |
| 20C | 13 | 62  | 17       | 8   |

Einsprenglinge ca. 4% : Olivin ( Fo 89 ).

Grundmasse 96% : Olivin 9% ( Fo 75 ), Klinopyroxen 62% (  $\text{Ca}_{45}\text{Mg}_{37}\text{Fe}_{18}$  ), Nephelin 16% ( 100 K / K+Na+Ca 20 ), Erz 7% Magnetit, 1% Ilmenit, Rutil, Anatas, Maghaemit.

### Die Minerale

Die Olivineinsprenglinge sind nur manchmal idiomorph erhalten, es überwiegt die Abrundung von Kanten. Quersprünge sind gelegentlich zu beobachten, das auf eine mechanische Beanspruchung hindeutet. Die Einsprenglinge sind farblos und der Achsenwinkel  $2V_x$  bleibt immer unter  $90^\circ$ . An manchen Körnern ist partienweise eine Iddingsitumsäumung zu sehen. Die Ränder der meisten Olivineinsprenglinge sind mit Magnetitkörnern besetzt. Der Olivin der Grundmasse ( Korngröße 0.02 - 0.04 ) ist frisch und weitgehend abgerundet. Verglichen mit den Olivineinsprenglingen ist er Fa-reicher ( 25% Fa ).

Klinopyroxen kommt nur in der Grundmasse vor. Er ist ein Ca-Ti-reicher salitischer Augit. Er zeigt eine knäueiförmige Verwachsung und erreicht 0.03 - 0.05 mm Größe. Seine Farbe ist bräunlich-gelb. Die Auslöschungsschiefe variiert von Korn zu Korn:  $n_{\Delta c} 38 - 54^{\circ}$  (Mittelwert  $46^{\circ}$ ). Der Nephelin findet sich als Füllmasse zwischen den Grundmassemineralen. Im Gegensatz zu Olivin und Klinopyroxen schließt Nephelin Apatitnadeln ein. Weiterer Grundmasseanteil ist xenomorpher Magnetit. Seine maximale Größe beträgt 0.05 mm, meist jedoch nur 0.02 mm. Der Magnetit kommt hauptsächlich in der Nähe der Augitmikrolithen vor und ist in den Grundmasseolivinen häufiger Einschluß als im Nephelin. Seine Verteilung im Gestein ist ziemlich gleichmäßig.

Das Gestein nach der Trögerschen Terminologie ist ein "Olivinnephelinit".

#### Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm

Der Rauhe Kulm liegt etwa 1 km östlich von Neustadt a. d. Kulm.

R 44<sub>89300</sub>, H 55<sub>21100</sub>. Die Kuppe des Rauhen Kulms (682 m) wird heute von einem Basaltblockfeld gebildet, das bis 630 m Höhe hinunterzieht.

Von diesem Vorkommen wurden insgesamt 8 kg Material entnommen - Probennummer 87.

Das Gestein ist tiefgrau bis schwarz und sehr dicht. Sein Gefüge ist holokristallin-porphyrisch (Abb. 4). Das Gestein setzt sich aus Einsprenglingen von Olivin (sehr wenig) und Klinopyroxen zusammen. Grundmasseminerale sind Olivin, Klinopyroxen, Nephelin, Magnetit und Alkalifeldspat. Quantitativ (in Gew.%) ergibt sich folgendes:

| Ol | Kpx | Ne+Kf | Erz |
|----|-----|-------|-----|
| 13 | 55  | 19    | 12  |

Einsprenglinge 9%: Olivin 2% ( Fo 88 ); Klinopyroxen 7% ( Ca<sub>45.82</sub>

Mg<sub>37.17</sub> Fe<sub>17.01</sub> ).

Grundmasse 91%: Olivin 11% ( Fo 79.45 ); Klinopyroxen ( Ca<sub>47.98</sub>

Mg<sub>35.16</sub> Fe<sub>16.86</sub> ); Nephelin ( 100 K / K+Na+Ca 21 ); Erz ( Magnetit ca.

11, 5% ).

Der Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm unterscheidet sich von dem des Großen Teichelbergs durch das Auftreten von Klinopyroxeneinsprenglingen, durch das Fehlen von Biotit und durch größere Nepheline und Grundmasse-klinopyroxen.

Die Olivineinsprenglinge ( Chrysolith ) sind seltener und nur halb so groß wie die des Olivinnephelinit vom Großen Teichelberg.

Die gut idiomorphen Klinopyroxeneinsprenglinge ( Ti-Augite ) erreichen 0.2 mm Größe und sind zonar gebaut. Sie haben eine rötlich-violette Farb-tönung, die in der Randzone intensiver wird. Messungen ergaben, daß die Achsenwinkel und die Auslöschungswinkel vom Rand zum Kern zunehmen:  $2V_z = 43^\circ \longrightarrow 58^\circ \longrightarrow 77^\circ$  und  $nz_{\Delta c} 30^\circ \longrightarrow 37^\circ \longrightarrow 46^\circ$ . Das läßt auf einen höheren Titan- und Eisengehalt der Randzone schließen. Skelett-formen und Sanduhrbau sowie auch Verzwillingungen sind selten.

Der Klinopyroxen ( Ti-Na-reicher Salit ) der Grundmasse erreicht 0.08 mm Größe und ist idiomorph ausgebildet. Seine Farbe ist bräunlich, die Aus-löschungsschiefe  $nz_{\Delta c} 42^\circ$  ( Mittelwert ). Optisch ähnelt der Grundmasse-klinopyroxen den Randzonen der Einsprenglinge. Es kann angenommen wer-den, daß er den gleichen Chemismus aufweist, da z. B. chemische Analysen

von Randzonen der Einsprenglinge und Grundmasseklinopyroxenen aus Alkalibasalten der Hoheifel ( Huckenholz 1965 ) keinen deutlichen Unterschied zeigten.

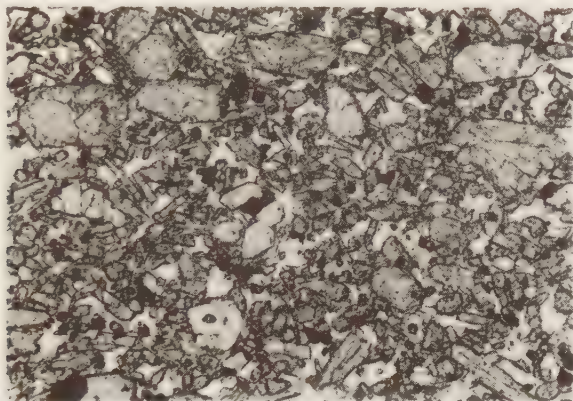


Abb. 4 Dünnschliffphoto. Olivinnephelinit mit Olivineinsprenglingen ( hell mit deutlichem Relief ), Klinopyroxeneinsprenglingen ( hellgrau mit deutlichem Relief ). Matrix: Olivin ( hell, idiomorph ), Klinopyroxen ( hellgrau, idiomorph ), Magnetit ( schwarz ), Nephelin als Zwickelfüllung ( hell mit schwachem Relief ). Länge des Bildausschnittes 1.2 mm. Schliff-Nr. 8885/2. Rauher Kulm.

Der Nephelin bildet die Zwickelfüllung und liegt in großen ( 0.05 mm ) Individuen vor, die einheitlich auslöschen.

Der Alkalifeldspat wurde röntgenographisch bestimmt.

Das Erz ( Magnetit ) sieht gleich aus wie im Olivinnephelinit vom Großen Teichelberg.

Nach der Trögerschen Nomenklatur ist er als Olivinnephelinit anzusprechen.

### Olivinnephelinit vom Steinhügel bei Pechbrunn

Der Steinhügel liegt etwa 1 km östlich von Pechbrunn, R 45<sub>12640</sub>, H 55<sub>36300</sub>. Er stellt einen kleinen erodierten Basaltschlot mit einer Oberfläche von etwa 300 qm dar.

Die von hier entnommene Probe bestand aus mehreren Handstücken und hatte ein Gewicht von etwa 7 kg. Probennummer 88.

Das Gestein ist schwärzer als die zwei obenbeschriebenen Olivinnephelinite, härter und fast ohne erkennbare Einsprenglinge. Sein Gefüge ist hyalo-kristallin-porphyrisch ( Abb. 5 ). Sein Mineralbestand setzt sich aus Olivineinsprenglingen, Grundmasseolivinen, Grundmasseklinopyroxenen, Magnetitkörnern sowie einer Glasbasis mit Spuren von Nephelin, Feldspat und Calcit zusammen.

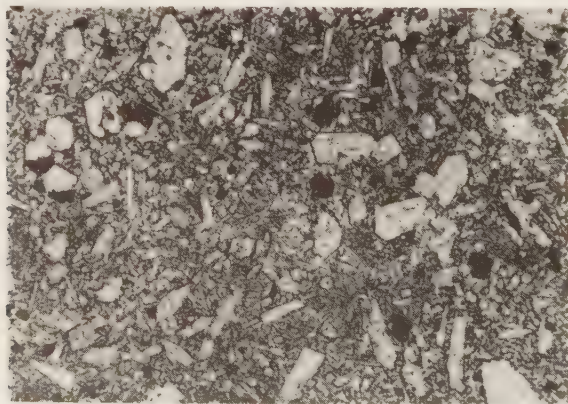


Abb. 5 Dünnschliffphoto. Olivinnephelinit mit einzelnen Olivin- ( hell mit starkem Relief ) und Klinopyroxeneinsprenglingen ( hellgrau mit starkem Relief ). Matrix mit Olivin, Augitmikrolithen, Magnetit ( schwarz ) und Glas ( dunkelgrau ). Länge des Bildausschnittes 1.2 mm. Schliff-Nr. 8888/2. Steinhügel bei Pechbrunn.

Quantitative Messungen in Gew.% ergaben folgendes Ergebnis:

| OI | Kpx | Glas | Erz | Cc+Ne+Fsp |
|----|-----|------|-----|-----------|
| 16 | 46  | 30   | 6.6 | 1.3       |

Einsprenglinge 6%: Olivin 3% ( Fo 88 ) ; Klinopyroxen 3%.

Grundmasse 94%: Olivin 13% ( Fo 77 ) ; Klinopyroxen 43% ( Ca<sub>45.77</sub>

Mg<sub>36.05</sub> Fe<sub>18.18</sub> ) ; Glas 30% ( wahrscheinlich nephelinitischer Zusammensetzung ) ; Erz ( hauptsächlich Magnetit ).

Die Olivineinsprenglinge ( Korngröße 0.8 mm ) sind deutlich nach der Längsachse geregelt. Sie sind hypidiomorph ausgebildet. Bräunliches Glas liegt isoliert in einzelnen Zwickeln. Die anderen Minerale zeigen eine ähnliche Ausbildungsform wie in den anderen Olivinnepheliniten.

Nach Boricky ( 1874 ) ist das Gestein ein Magmabasalt. (Sammelname für basaltische Gesteine, deren helle Komponente als Glas erstarrt ist ).

### Nephelinbasanit von Triebendorf

Der Nephelinbasanit ist in einem aufgelassenen Steinbruch aufgeschlossen, der etwa 1.5 km nördlich von Wiesau liegt. R 45<sub>12760</sub> , H 55<sub>31900</sub> .

Von diesem Vorkommen wurde eine gemittelte Probe zu insgesamt 10 kg aus mehreren Bereichen des Bruches genommen. Probennummer 89.

Der Nephelinbasanit bildet einen ostwestlich streichenden Basaltgang, der rings von Tuffen umgeben ist. Er ist etwa 500 m lang und maximal 200 m breit. Das Gestein ist dicht, bricht muschelig-splittrig und hat eine grauschwänzliche Farbe. Er unterscheidet sich makroskopisch vom Alkalibasalt des Teichelbergs durch das Fehlen oder die Seltenheit von Einsprenglingen. Das Gestein ist holo- bis hypokristallin ausgebildet ( Abb. 6 ).

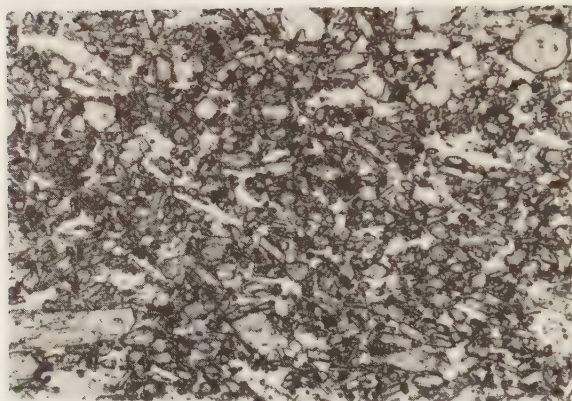


Abb. 6 Dünnschliffphoto. Nephelinbasanit mit Klinopyroxeneinsprenglingen ( hellgrau mit starkem Relief ). Matrix mit sperrigen Plagioklasleisten ( hell mit niedrigem Relief ), idiomorphem Olivin ( hell mit starkem Relief ), Klinopyroxen und zahlreichen Magnetitkörnern ( schwarz ). Länge des Bildausschnittes 1.2 mm. Schliff-Nr. 8877/1. Stbr. Triebendorf.

Als Einsprenglinge treten Olivine und Klinopyroxene auf, die Grundmasse bilden Olivine, Klinopyroxene, Plagioklase und Magnetite. Untergeordnet kommt in der Grundmasse Nephelin, Kalifeldspat, Calcit und Apatit vor.

Die Zusammensetzung in Gew. % ist:

| Ol   | Kpx | Pl   | Erz  | Ne+Kf+Cc |
|------|-----|------|------|----------|
| 11.5 | 50  | 23.5 | 14.5 | 1        |

Einsprenglinge 5%: Olivin 1% ( Fo 88 ) ; Klinopyroxen 4% ( Ca<sub>44.46</sub>

Mg<sub>36.49</sub> Fe<sub>19.01</sub> ).

Grundmasse 95%: Olivin 10.5% ( Fo 81.67 ); Klinopyroxen 46% ( Ca<sub>47.52</sub> Mg<sub>33.49</sub> Fe<sub>18.99</sub> ); Plagioklas ca. 20% Labradorit ( An 50 - 52 ), ca. 3.5% saurer Plagioklas ( Oligoklas ).

Die Einsprenglinge erreichen 0.2 mm Größe, Grundmasseminerale 0.06 mm, während Magnetit nur bis 0.01 mm groß wird. Die Minerale zeigen ähnliche Merkmale wie bei dem Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm. Als neues gesteinsbildendes Mineral tritt Plagioklas hinzu. Er kommt in zweierlei Ausbildung vor. Einmal ist er frischer Labradorit in verzwilligten Leisten bis 0.08 mm Länge, zum anderen ist er saurer, unverzwilligt und füllt die Zwickel.

#### Nephelinbasanit vom Rehberg

Der Rehberg ist in einem in Betrieb befindlichen kleineren Bruch aufgeschlossen, der etwa 2.5 km östlich von Marktredwitz liegt. R 45<sub>9500</sub>, H 55<sub>39300</sub>.

Die etwa 8 kg schwere gemittelte Gesteinsprobe ist aus mehreren Bereichen des Bruches entnommen. Probennummer 90.

Der Bruchdurchmesser beträgt 150 m und seine Höhe 10 m. Der Säulendurchmesser variiert vom dm-Bereich im östlichen Teil des Bruches bis 1 m in der Bruchmitte. Der Alkalibasalt zeigt eine holokristallin-porphyrische Struktur ( Abb. 7 ) und führt Einsprenglinge von Olivinen und Klinopyroxenen gleicher Größe ( 0.08 mm ). Die Grundmasse besteht aus Olivin, Klinopyroxen, Plagioklas, Magnetit und spärlichen Resten von Nephelin, Analcim, Calcit und Apatit.

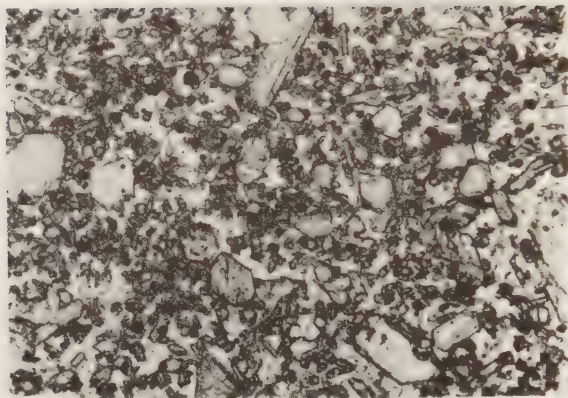


Abb. 7 Dünnschliffphoto von Nephelinbasalit. Einsprenglinge sind Olivin ( kräftiges Relief und farblos ) und Klinopyroxen ( kräftiges Relief und grau ). Die Matrix besteht aus idiomorphem Olivin , Klinopyroxen , Plagioklasleisten ( schwaches Relief und farblos ) und Magnetit ( schwarz ). Länge des Bildausschnittes 1.2 mm. Schliff-Nr. 8887/2. Stbr. Rehberg.

Die Zusammensetzung in Gew.% lautet:

| Ol | Kpx | Pl | Erz  | Ne+Cc+Anc |
|----|-----|----|------|-----------|
| 15 | 46  | 24 | 14.5 | 0.5       |

Einsprenglinge 10%: Olivin 5% ( Fo 88 ); Klinopyroxen ca. 5%.

Grundmasse 90%: Olivin 10% ( Fo 77.28 ); Klinopyroxen 41% (  $\text{Ca}_{45.02} \text{Mg}_{38.30} \text{Fe}_{16.68}$  ); Plagioklas 20% Labradorit ( An 50 - 52 ), 4% saurer Plagioklas ( Oligoklas ).

Olivin- und Klinopyroxeneinsprenglinge sind idiomorph ausgebildet und sehen ähnlich wie die vom Rauhen Kulm aus. Die Grundmasseminerale

erreichen 0.03 mm, Feldspatleisten werden bis 0.08 mm groß.

### III. Petrochemie der untersuchten Alkalibasalte

Das Hauptgewicht der Arbeit lag in der Bestimmung des Chemismus der Gesteine ( Haupt- und Spurenelemente ) und ihrer wichtigsten Mineralphasen. Hierfür wurden Analysen von den Alkalibasalt-Vorkommen "Großer Teichelberg, Rauher Kulm, Steinhügel bei Pechbrunn, Triebendorf und Rehberg" angefertigt. Außerdem wurden Olivin-, Klinopyroxeneinsprenglinge und Olivine, Klinopyroxene, Nepheline, Plagioklase, der Grundmasse abgetrennt und analysiert.

Die Gesteinsanalysen sind in den Tabellen 1 und 1a, die Mineralanalysen in den Tabellen 2 - 5 zusammengestellt.

CIPW-Normen der Gesteine sowie Strukturformeln und Mischkristallzusammensetzung der Minerale (Fo-Gehalt der Olivine; Ca, Mg, Fe; Ac+Jd, Tsch, Di und Hd Anteile der Klinopyroxene; K / K+Na Gehalt der Nepheline und An-Gehalt der Plagioklase) sind unterhalb der betreffenden Analysen angegeben. Die Technik der chemischen Analysen, die Reinheit der abgetrennten Mineralphasen, wird im "Methodischen" Teil erläutert.

Tabelle 1. Gesteinsanalysen

|                                | ON 20A | ON 20B | ON 20C | ON 87 | ON 88 | NB 89 | NB 90 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.71  | 39.55  | 38.61  | 41.99 | 42.17 | 44.51 | 42.62 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.90   | 2.97   | 2.95   | 2.37  | 2.87  | 2.13  | 2.41  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.17  | 11.95  | 11.69  | 12.05 | 12.76 | 11.62 | 11.44 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.49   | 6.16   | 5.40   | 4.93  | 3.66  | 5.24  | 4.68  |
| FeO                            | 8.63   | 8.12   | 8.67   | 7.71  | 8.20  | 6.33  | 7.90  |
| MnO                            | 0.13   | 0.12   | 0.13   | 0.19  | 0.24  | 0.17  | 0.15  |
| MgO                            | 11.69  | 10.48  | 12.01  | 11.03 | 11.11 | 9.98  | 11.51 |
| CaO                            | 12.90  | 12.97  | 12.80  | 11.78 | 11.93 | 12.69 | 11.90 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.49   | 3.66   | 3.78   | 4.59  | 3.82  | 3.96  | 4.30  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.98   | 1.00   | 1.04   | 1.17  | 1.12  | 0.95  | 0.98  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92   | 0.94   | 0.93   | 1.05  | 0.99  | 0.80  | 1.06  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.50   | 1.32   | 1.13   | 0.63  | 0.62  | 0.90  | 0.51  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.52   | 0.58   | 0.46   | 0.30  | 0.27  | 0.35  | 0.38  |
| Summe                          | 99.03  | 99.82  | 99.60  | 99.79 | 99.76 | 99.63 | 99.86 |

CIPW - Normen in Gew. %

|    |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| or | ---   | 1.72  | ---   | 7.23  | 6.67  | 5.56  | 6.12  |
| ab | ---   | ---   | ---   | 2.00  | 4.27  | 12.14 | 4.80  |
| an | 11.67 | 13.06 | 11.95 | 8.62  | 14.13 | 11.12 | 8.96  |
| lc | 4.79  | 3.44  | 4.79  | ---   | ---   | ---   | ---   |
| ne | 15.90 | 16.76 | 17.32 | 20.42 | 15.01 | 11.59 | 16.10 |
| cs | 0.41  | ---   | 2.79  | ---   | ---   | ---   | ---   |
| di | 36.32 | 36.26 | 29.55 | 34.71 | 30.27 | 36.54 | 39.14 |
| ol | 13.65 | 9.89  | 15.67 | 12.23 | 14.73 | 8.14  | 13.28 |
| mt | 6.95  | 8.82  | 7.89  | 7.19  | 5.34  | 7.66  | 6.73  |
| il | 5.47  | 5.62  | 5.62  | 4.56  | 5.47  | 4.10  | 4.56  |
| ap | 2.01  | 2.01  | 2.01  | 2.35  | 2.35  | 2.02  | 2.17  |

Tabelle 1a. Fortsetzung der Tabelle 1 ( Spurenelemente in ppm )

|    | ON 20A | ON 20B | ON 20C | ON 87 | ON 88 | NB 89 | NB 90 |
|----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Cr | 268    | 255    | 262    | 250   | 262   | 247   | 250   |
| Ni | 232    | 228    | 236    | 213   | 219   | 185   | 198   |
| Co | 51     | 47     | 46     | 52    | 57    | 44    | 45    |
| Cu | 96     | 111    | 119    | 90    | 86    | 86    | 87    |
| V  | 262    | 247    | 270    | 217   | 222   | 161   | 206   |
| Zr | 145    | 178    | 168    | 174   | 162   | 184   | 214   |
| Sc | 31     | 27     | 33     | 36    | 34    | 43    | 45    |
| Y  | 34     | 32     | 38     | 33    | 33    | 25    | 36    |
| Sr | 880    | 735    | 750    | 863   | 800   | 920   | 925   |
| Ba | 415    | 398    | 393    | 410   | 403   | 435   | 426   |

ON 20A Olivinnephelinit Stbr.Teichelberg

ON 20B Olivinnephelinit Stbr.Teichelberg

ON 20C Olivinnephelinit Stbr.Teichelberg

ON 87 Olivinnephelinit Rauher Kulm

ON 88 Olivinnephelinit Steinhügel bei Pechbrunn

NB 89 Nephelinbasanit Stbr.Triebendorf

NB 90 Nephelinbasanit Stbr.Rehberg

Tabelle 2. Olivinanalysen

|                                | 20A(E) | 20B(E) | 20C(E) | 20A(G) | 20B(G) |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 38.50  | 37.79  | 38.12  | 38.51  | 39.06  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.04   | 0.03   | 0.03   | 0.04   | 0.03   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.06   | 0.04   | 0.05   | 0.07   | 0.08   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.98   | 0.94   | 0.93   | 0.40   | 0.39   |
| FeO                            | 11.39  | 11.20  | 11.71  | 22.88  | 22.82  |
| MnO                            | 0.11   | 0.12   | 0.11   | 0.16   | 0.15   |
| MgO                            | 47.77  | 48.42  | 47.93  | 36.80  | 36.93  |
| CaO                            | 0.11   | 0.13   | 0.13   | 0.14   | 0.14   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.20   | 0.23   | 0.24   | 0.09   | 0.08   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.09   | 0.09   | 0.03   | 0.02   | 0.02   |
| Summe                          | 99.25  | 98.99  | 99.28  | 99.11  | 99.70  |
| Auf der Basis von 4 O          |        |        |        |        |        |
| Si                             | 0.9675 | 0.9561 | 0.9598 | 1.0140 | 1.0204 |
| Al                             | 0.0018 | 0.0012 | 0.0015 | 0.0022 | 0.0025 |
| Ti                             | 0.0006 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0005 |
| Fe <sup>+3</sup>               | 0.0190 | 0.0179 | 0.0175 | 0.0079 | 0.0077 |
| Mg                             | 1.7876 | 1.8163 | 1.7982 | 1.4438 | 1.4373 |
| Fe <sup>+2</sup>               | 0.2397 | 0.2360 | 0.2468 | 0.5038 | 0.4981 |
| Mn                             | 0.0018 | 0.0021 | 0.0018 | 0.0035 | 0.0031 |
| Ca                             | 0.0033 | 0.0039 | 0.0039 | 0.0044 | 0.0044 |
| (Y) <sup>6</sup>               | 2.0538 | 2.0759 | 2.0702 | 1.9662 | 1.9536 |
| Mg                             | 88.18  | 88.50  | 87.93  | 74.13  | 74.26  |
| Fe <sup>+2</sup>               | 11.82  | 11.50  | 12.07  | 25.87  | 25.74  |

20A(E) Olivineinsprenglinge aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

20B(E) Olivineinsprenglinge aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

20C(E) Olivineinsprenglinge aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

20A(G) Grundmasseolivine aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

20B(G) Grundmasseolivine aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

Tabelle 2a. Olivinanalysen ( Fortsetzung der Tabelle 2 )

|                                | 20C(G) | 87(G)  | 88(G)  | 89(G)  | 90(G)  |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.72  | 38.09  | 37.45  | 38.42  | 37.98  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.03   | 0.06   | 0.07   | 0.04   | 0.04   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.06   | 0.05   | 0.07   | 0.05   | 0.05   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.76   | 0.71   | 0.61   | 0.56   | 0.81   |
| FeO                            | 22.90  | 18.89  | 21.02  | 17.00  | 20.60  |
| MnO                            | 0.15   | 0.25   | 0.23   | 0.22   | 0.22   |
| MgO                            | 35.75  | 40.98  | 39.67  | 42.56  | 39.36  |
| CaO                            | 0.17   | 0.14   | 0.16   | 0.16   | 0.17   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.03   | 0.25   | 0.09   | 0.24   | 0.10   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.02   | 0.03   | 0.03   | 0.09   | 0.09   |
| Summe                          | 99.59  | 99.45  | 99.40  | 99.34  | 99.44  |
| Auf der Basis von 4 O          |        |        |        |        |        |
| Si                             | 1.0204 | 0.9865 | 0.9435 | 0.9870 | 0.9924 |
| Al                             | 0.0019 | 0.0016 | 0.0022 | 0.0015 | 0.0016 |
| Ti                             | 0.0005 | 0.0009 | 0.0011 | 0.0006 | 0.0009 |
| Fe <sup>+3</sup>               | 0.0151 | 0.0142 | 0.0123 | 0.0111 | 0.0127 |
| Mg                             | 1.3903 | 1.5824 | 1.4892 | 1.6298 | 1.5313 |
| Fe <sup>+2</sup>               | 0.5003 | 0.4092 | 0.4440 | 0.3658 | 0.4502 |
| Mn                             | 0.0031 | 0.0054 | 0.0050 | 0.0049 | 0.0052 |
| Ca                             | 0.0053 | 0.0044 | 0.0048 | 0.0049 | 0.0053 |
| (Y) <sup>6</sup>               | 1.9165 | 2.0181 | 1.9576 | 2.0186 | 2.0072 |
| Mg                             | 73.54  | 79.45  | 77.03  | 81.67  | 77.28  |
| Fe <sup>+2</sup>               | 26.46  | 20.55  | 22.97  | 18.33  | 22.72  |

20C(G) Grundmasseolivine aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

87(G) Grundmasseolivine aus dem Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm

88(G) Grundmasseolivine aus dem Olivinnephelinit vom Steinhügel b. Pechbrunn

89(G) Grundmasseolivine aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Triebendorf

90(G) Grundmasseolivine aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Rehberg

Tabelle 2b. Olivinalysen : Spurenelemente in ppm

|        | 20A(E) | 20B(E) | 20C(E) | 20A(G) | 20B(G) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Al (1) | 317    | 211    | 264    | 370    | 423    |
| Cr     | 178    | 195    | 184    | 104    | 119    |
| Ni     | 1475   | 1496   | 1432   | 474    | 512    |
| Co     | 118    | 132    | 126    | 117    | 150    |
| Cu     | 11     | 15     | 19     | 34     | 34     |
| V      | --     | --     | --     | 8      | 11     |
| Zr     | --     | --     | --     | 8      | 5      |
| Sr     | 8      | 4      | 4      | 13     | 11     |
| Ba     | 2      | 5      | 2      | 6      | 8      |
| Ca (1) | 786    | 929    | 929    | 1000   | 1000   |
|        | 20C(G) | 87(G)  | 88(G)  | 89(G)  | 90(G)  |
| Al (1) | 317    | 264    | 370    | 264    | 264    |
| Cr     | 133    | 129    | 117    | 116    | 91     |
| Ni     | 488    | 465    | 453    | 525    | 460    |
| Co     | 155    | 143    | 80     | 134    | 155    |
| Cu     | 62     | 39     | 23     | 46     | 42     |
| V      | 14     | 7      | --     | --     | --     |
| Sr     | 15     | 15     | --     | --     | --     |
| Ba     | 7      | 8      | 3      | 5      | 7      |
| Ca (1) | 1215   | 1000   | 1145   | 1145   | 1215   |

(1) Gehalte sind in den Tabellen 2 und 2a enthalten

Tabelle 3. Klinopyroxenanalysen

|       |                                | 20A(G) | 20B(G) | 20C(G) | 87(E)  | 87(G)  |
|-------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | SiO <sub>2</sub>               | 47.33  | 47.97  | 46.67  | 48.02  | 47.13  |
|       | TiO <sub>2</sub>               | 2.65   | 2.58   | 2.62   | 2.08   | 2.68   |
|       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.74   | 10.35  | 9.40   | 9.67   | 10.18  |
|       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.44   | 3.21   | 3.43   | 3.76   | 4.22   |
|       | FeO                            | 4.25   | 4.08   | 4.82   | 3.08   | 2.60   |
|       | MnO                            | 0.12   | 0.11   | 0.13   | 0.09   | 0.09   |
|       | MgO                            | 11.81  | 9.50   | 11.85  | 10.67  | 10.09  |
|       | CaO                            | 20.63  | 21.09  | 20.48  | 21.10  | 21.72  |
|       | Na <sub>2</sub> O              | 0.62   | 0.59   | 0.54   | 0.67   | 1.00   |
|       | K <sub>2</sub> O               | 0.05   | 0.06   | 0.06   | 0.11   | 0.17   |
|       | Summe                          | 99.64  | 99.54  | 100.50 | 99.25  | 99.94  |
|       | Auf der Basis von 6 O          |        |        |        |        |        |
| Z     | Si                             | 1.7530 | 1.7730 | 1.7321 | 1.7759 | 1.7382 |
|       | Al                             | 0.2470 | 0.2270 | 0.2679 | 0.2241 | 0.2618 |
| Y     | Al                             | 0.1350 | 0.2236 | 0.1309 | 0.1967 | 0.1802 |
|       | Ti                             | 0.0745 | 0.0724 | 0.0740 | 0.0573 | 0.0749 |
|       | Fe <sup>+3</sup>               | 0.0965 | 0.0624 | 0.0965 | 0.1049 | 0.1191 |
|       | Fe <sup>+2</sup>               | 0.1312 | 0.1572 | 0.1497 | 0.0951 | 0.0797 |
| X     | Mn                             | 0.0031 | 0.0027 | 0.0036 | 0.0020 | 0.0020 |
|       | Mg                             | 0.6520 | 0.5239 | 0.6551 | 0.5874 | 0.5532 |
| W     | Ca                             | 0.8175 | 0.8342 | 0.8146 | 0.8353 | 0.8579 |
|       | Na                             | 0.0440 | 0.0415 | 0.0383 | 0.0453 | 0.0709 |
|       | K                              | 0.0022 | 0.0027 | 0.0027 | 0.0049 | 0.0075 |
| Z     |                                | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Y+X+W |                                | 1.9560 | 1.9206 | 1.9654 | 1.9289 | 1.9454 |

Tabelle 3a. Fortsetzung der Tabelle 3

|             | 20A(G) | 20B(G) | 20C(G) | 87(E) | 87(G) |
|-------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| $\Sigma$ Fe | 17.04  | 18.95  | 17.89  | 17.01 | 16.86 |
| Mg          | 38.79  | 35.14  | 38.70  | 37.17 | 35.16 |
| Ca          | 44.17  | 45.91  | 43.41  | 45.82 | 47.98 |
| Ac+Jd       | 4.52   | 4.37   | 4.10   | 5.02  | 7.84  |
| Tsch.       | 24.70  | 22.70  | 26.79  | 22.41 | 26.18 |
| Di          | 57.66  | 55.21  | 54.14  | 63.06 | 58.01 |
| Hd          | 13.12  | 15.72  | 14.97  | 9.51  | 7.97  |

Spurenelemente der Klinopyroxene in ppm

|    |     |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Cr | 396 | 319 | 338 | 360 | 257 |
| Ni | 107 | 117 | 120 | 150 | 114 |
| Co | 36  | 25  | 26  | 31  | 40  |
| Cu | 36  | 38  | 36  | 36  | 45  |
| V  | 180 | 187 | 180 | 195 | 166 |
| Zr | 195 | 185 | 185 | 175 | 208 |
| Sc | 51  | 57  | 63  | 44  | 48  |
| Sr | 35  | 30  | 36  | 35  | 34  |
| Ba | 20  | 30  | 36  | 37  | 36  |

20A(G) Ca - Ti - reicher Augit aus der Grundmasse des Olivinnephelinit  
vom Stbr. Teichelberg

20B(G) Ca - Ti - reicher salitischer Augit aus der Grundmasse des Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

20C(G) Ca - Ti - reicher Augit aus der Grundmasse des Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

87(E) Ca - Ti - reicher salitischer Augit aus dem Olivinnephelinit vom Rauhen  
Kulm ( Einsprenglingklinopyroxen )

87(G) Ca - Ti - Na - reicher Salit aus dem Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm  
( Grundmasseklinopyroxen )

Tabelle 3b. Klinopyroxenanalysen ( Fortsetzung )

|                                | 88(G) | 89(E) | 89(G) | 90(G) |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 47.12 | 50.42 | 48.76 | 48.85 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.94  | 1.86  | 2.49  | 1.66  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.37  | 8.64  | 8.98  | 8.96  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.18  | 4.05  | 5.21  | 3.07  |
| FeO                            | 5.94  | 3.40  | 2.83  | 3.95  |
| MnO                            | 0.14  | 0.09  | 0.15  | 0.09  |
| MgO                            | 10.78 | 9.90  | 9.22  | 11.40 |
| CaO                            | 21.03 | 20.03 | 21.02 | 21.26 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.72  | 0.66  | 1.01  | 0.47  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.22  | 0.11  | 0.14  | 0.02  |
| Summe                          | 99.44 | 99.16 | 99.81 | 99.73 |

Auf der Basis von 6 O

|           |                  |        |        |        |        |
|-----------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| Z         | Si               | 1.7630 | 1.8604 | 1.7979 | 1.7971 |
|           | Al               | 0.2370 | 0.1396 | 0.2021 | 0.2029 |
|           | Al               | 0.1315 | 0.2323 | 0.1888 | 0.1863 |
| Y         | Ti               | 0.0827 | 0.0517 | 0.0684 | 0.0455 |
|           | Fe <sup>+3</sup> | 0.0620 | 0.1106 | 0.1441 | 0.0855 |
|           | Fe <sup>+2</sup> | 0.1861 | 0.1029 | 0.0870 | 0.1215 |
| X         | Mn               | 0.0040 | 0.0020 | 0.0044 | 0.0020 |
|           | Mg               | 0.5974 | 0.5388 | 0.5060 | 0.6252 |
|           | Ca               | 0.8420 | 0.7826 | 0.8288 | 0.8377 |
| W         | Na               | 0.0530 | 0.0469 | 0.0715 | 0.0334 |
|           | K                | 0.0099 | 0.0048 | 0.0062 | 0.0009 |
| Z         |                  | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Y + X + W |                  | 1.9656 | 1.8726 | 1.9052 | 1.9380 |

Tabelle 3c. Fortsetzung der Tabelle 3b

|                    | 88(G) | 89(E) | 89(G) | 90(G) |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\Sigma \text{Fe}$ | 18.18 | 19.01 | 18.99 | 16.68 |
| Mg                 | 36.05 | 36.49 | 33.49 | 38.30 |
| Ca                 | 45.77 | 44.46 | 47.52 | 45.02 |
| Ac+Jd              | 6.29  | 5.17  | 7.77  | 4.43  |
| Tsch.              | 23.70 | 13.96 | 20.21 | 20.29 |
| Di                 | 51.40 | 70.58 | 63.32 | 63.13 |
| Hd                 | 18.61 | 10.29 | 8.70  | 12.15 |

Spurenelemente der Klinopyroxene in ppm

|    |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|
| Cr | 300 | 260 | 220 | 278 |
| Ni | 160 | 138 | 119 | 133 |
| Co | 48  | 44  | 54  | 42  |
| Cu | 39  | 56  | 71  | 64  |
| V  | 188 | 144 | 136 | 127 |
| Zr | 170 | 235 | 264 | 262 |
| Sc | 67  | 65  | 70  | 57  |
| Sr | 30  | 40  | 40  | 44  |
| Ba | 32  | 41  | 39  | 36  |

88(G) Ca - Ti - reicher salitischer Augit aus der Grundmasse des Olivin-nephelinit vom Steinhügel bei Pechbrunn

89(E) Ca - Ti - reicher salitischer Augit aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Triebendorf ( Einsprenglingklinopyroxen )

89(G) Ca - Ti - Na - reicher Salit aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Triebendorf ( Grundmasseklinopyroxen )

90(G) Ca - Ti - reicher salitischer Augit aus der Grundmasse des Nephelin-basanits vom Stbr. Rehberg

Tabelle 4. Nephelinalysen

|                                | 20A   | 20B   | 20C   | 87    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 42.78 | 43.75 | 43.29 | 42.95 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.09  | 0.08  | 0.06  | 0.32  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 33.81 | 33.08 | 33.54 | 33.93 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.73  | 0.66  | 0.44  | 0.96  |
| FeC                            | ---   | ---   | ---   | ---   |
| MnO                            | ---   | ---   | ---   | ---   |
| MgO                            | 0.12  | 0.08  | 0.09  | 0.13  |
| CaO                            | 0.52  | 0.49  | 0.46  | 0.57  |
| Na <sub>2</sub> O              | 17.19 | 17.28 | 17.11 | 16.43 |
| K <sub>2</sub> O               | 4.57  | 4.34  | 4.56  | 4.49  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ---   | ---   | ---   | ---   |
| Summe                          | 99.81 | 99.76 | 99.55 | 99.78 |

Auf der Basis von 32 O

|                  |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| Si               | 8.4428 | 8.5813 | 8.3200 | 8.2269 |
| Al               | 7.8575 | 7.6401 | 7.5928 | 7.6585 |
| Ti               | 0.0107 | 0.0094 | 0.0069 | 0.0483 |
| Fe <sup>+3</sup> | 0.1102 | 0.1013 | 0.0623 | 0.1404 |
| Mg               | 0.0308 | 0.0188 | 0.0208 | 0.0334 |
| Na               | 6.5720 | 6.5678 | 6.3750 | 6.0971 |
| Ca               | 0.1114 | 0.1037 | 0.0947 | 0.1197 |
| K                | 1.1540 | 1.0861 | 1.1220 | 1.1011 |
| Na+K+2Ca         | 7.9488 | 7.8613 | 7.6864 | 7.4376 |

20A Nephelin aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

20B Nephelin aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

20C Nephelin aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

87 Nephelin aus dem Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm

Tabelle 4a. Fortsetzung der Tabelle 4

|                                                          |                                      | 20A     | 20B     | 20C     | 87      |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| $\frac{100 \text{ K}}{\text{K} + \text{Na} + \text{Ca}}$ | (v. ch. Analyse)                     | 22.4231 | 21.4791 | 21.3951 | 22.8331 |
| $\frac{100 \text{ K}}{\text{K} + \text{Na}}$             | ( $2\Theta' = 21\overline{30}$ )     | 20.6028 | 21.5725 | 18.3991 | 19.6332 |
| $\frac{100 \text{ K}}{\text{K} + \text{Na}}$             | ( $2\Theta'' = 20\overline{22}$ )    | 19.8854 | 22.1957 | 19.3078 | 20.9813 |
| $\frac{100 \text{ K}}{\text{K} + \text{Na}}$             | ( $\frac{2\Theta' + 2\Theta''}{2}$ ) | 20.2441 | 21.8841 | 18.8534 | 20.3072 |

Spurenelemente der Nepheline

|    |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|
| Cr | 3   | 6   | 5   | 5   |
| Ni | --  | --  | 7   | 4   |
| Co | --  | --  | --  | --  |
| Cu | 12  | 11  | 16  | 12  |
| V  | --  | --  | --  | --  |
| Zr | 6   | 3   | 5   | 5   |
| Sc | --  | --  | --  | --  |
| Sr | 464 | 335 | 390 | 430 |
| Ba | 20  | 20  | 35  | 26  |

Tabelle 5. Plagioklasanalysen

|                                | 89      | 90      |                                | 89    | 90    |
|--------------------------------|---------|---------|--------------------------------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 55.64   | 55.55   | ab <sup>(1)</sup>              | 48.61 | 52.49 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.06    | 0.04    | an                             | 47.36 | 43.14 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 28.52   | 28.33   | or                             | 4.03  | 4.37  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.64    | 0.68    |                                |       |       |
| FeO                            | ---     | ---     | Spurenelemente der Plagioklase |       |       |
| MnO                            | ---     | ---     | Cr                             | 7     | 5     |
| MgO                            | 0.11    | 0.25    | Ni                             | 7     | 6     |
| CaO                            | 9.38    | 8.40    | Co                             | 8     | 4     |
| Na <sub>2</sub> O              | 5.32    | 5.65    | Cu                             | 94    | 66    |
| K <sub>2</sub> O               | 0.66    | 0.71    | V                              | 3     | 9     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ---     | ---     | Zr                             | 6     | 8     |
| Summe                          | 100.33  | 99.61   | Sc                             | --    | --    |
| Auf der Basis von 32 O         |         |         | Sr                             | 805   | 845   |
| Si                             | 9.9978  | 10.0247 | Ba                             | 170   | 230   |
| Al                             | 5.9987  | 6.0246  |                                |       |       |
| Z Fe <sup>+3</sup>             | 0.0906  | 0.0954  | (1) Mol. - %.                  |       |       |
| Ti                             | 0.0065  | 0.0043  |                                |       |       |
| Mg                             | 0.0248  | 0.0704  |                                |       |       |
| Na                             | 1.8501  | 1.9778  |                                |       |       |
| X Ca                           | 1.8026  | 1.6256  |                                |       |       |
| K                              | 0.1531  | 0.2647  |                                |       |       |
| Z                              | 16.1184 | 16.2195 |                                |       |       |
| X                              | 3.8058  | 3.7681  |                                |       |       |

89 Labradorit aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Triebendorf

90 Labradorit aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Rehberg

#### IV. Detailuntersuchungen am Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

Wie schon im ersten und zweiten Kapitel dieser Arbeit erwähnt wurde, gestattet der Große Teichelberg einen einzigartigen Überblick in den Aufbau und die Zusammensetzung des Olivinnephelinites in horizontaler und vertikaler Erstreckung.

Um eine Aussage zur stofflichen Detailuntersuchung dieses Extrusivkörpers zu machen, wurden 86 Gesteinsproben von vier Profilen gesammelt, 150 Dünnschliffe angefertigt und aus drei, in der Mitte des Bruches übereinanderliegenden Proben (20A, 20B, 20C), die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale mechanisch isoliert und analysiert.

Die Ergebnisse sind wie folgt:

Die Gesteinsanalysen sind im Anhang dieser Arbeit aufgestellt. Mittelwert und Standardabweichung eines jeden Oxids wurden errechnet und in Tab. 6 zusammengestellt. Um die Zusammensetzung des Basaltkörpers aus den 86 Stichproben zu zeigen, ist die Darstellung durch Maßzahlen oder durch eine Häufigkeitsverteilung nicht geeignet. Es ist sinnvoller die Frage, ob die aufgetretenen Abweichungen der Oxide zufälliger oder systematischer Natur sind, mit statistischen Prüfverfahren zu klären. Ein solcher statistischer Test ist das Chi - quadrat - Verfahren von K. Pearson.

Man bestimmt die Abweichung oder Irrtumswahrscheinlichkeit zwischen einer theoretischen - ( Grundgesamtheit - ) Verteilung und der ermittelten, empirischen - Verteilung ( aus den 86 Stichproben ). ( Über Chi - quadrat - Verteilung siehe auch E. Kreyszig ( 1965 ).

In den Abb. 8 , 9 , 10 wurden aus den chemischen Analysen Histogramme für jedes Oxid aufgestellt. Auf den Ordinaten sind die Oxidgehalte in Klassen-

intervalle eingeteilt. Als Abzisse wurden die relative Klassenhäufigkeit  $\frac{v}{n}$  angegeben ( Quotient aus der Anzahl der Proben einer Klasse  $v$  und der Anzahl der Stichprobenumfang  $n = 86$  ).

Tabelle 6. Mittelwert und Standardabweichung der Oxide aus den 86

Gesteinsproben des Olivinnephelinites vom Stbr. Teichelberg

|                                |       |        |
|--------------------------------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.28 | 0.3743 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.96  | 0.0324 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.54 | 0.2556 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.05  | 0.5507 |
| FeO                            | 8.95  | 0.5275 |
| MnO                            | 0.13  | 0.0100 |
| MgO                            | 11.90 | 0.5145 |
| CaO                            | 12.77 | 0.3198 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.76  | 0.1868 |
| K <sub>2</sub> O               | 1.02  | 0.0694 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92  | 0.0175 |
| g. Fe                          |       |        |
| als FeO                        | 13.49 | 0.2901 |

Die Irrtumswahrscheinlichkeit für SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O liegt bei 1% und für TiO<sub>2</sub>, g. FeO, MnO und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bei 0.0001%. Es läßt sich sagen, daß sich die Verteilung eines jeden Oxids sehr gut einer normalen Verteilung nähert, d.h. die Homogenität des Olivinnephelinites im Stbr. Teichelberg ist sehr gut.

Die Gesteinsanalysen von zwei Proben aus der Mitte ( Nr. 85 ) und vom Rand ( Nr. 86 ) einer Absonderungssäule im mittleren Teil des Bruches ergaben keinen deutlichen Unterschied untereinander. Die Abweichungen

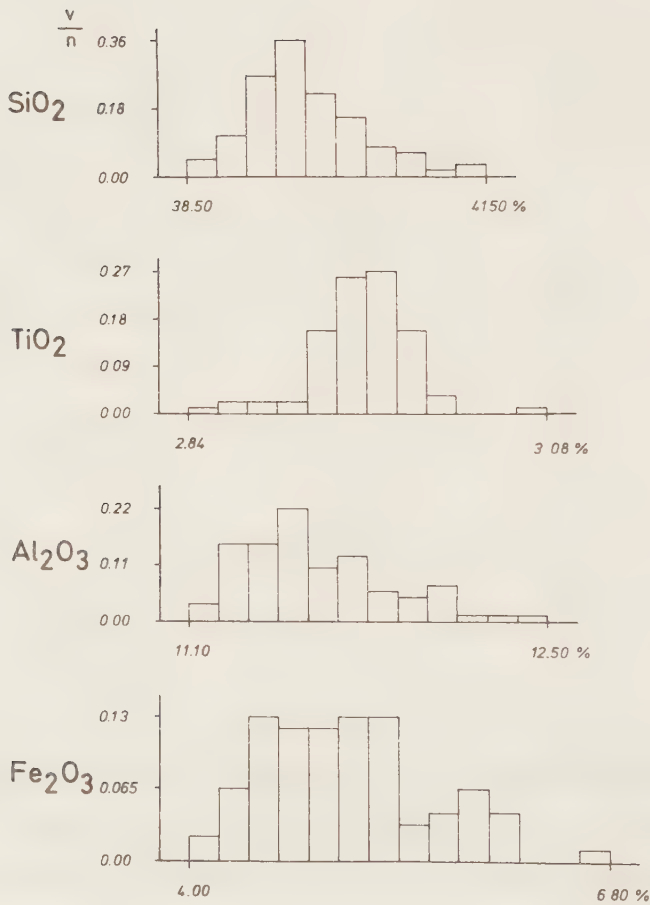


Abb. 8 Häufigkeitsverteilung von SiO<sub>2</sub> -, TiO<sub>2</sub> -, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Oxide ermittelt aus 86 Gesteinsanalysen

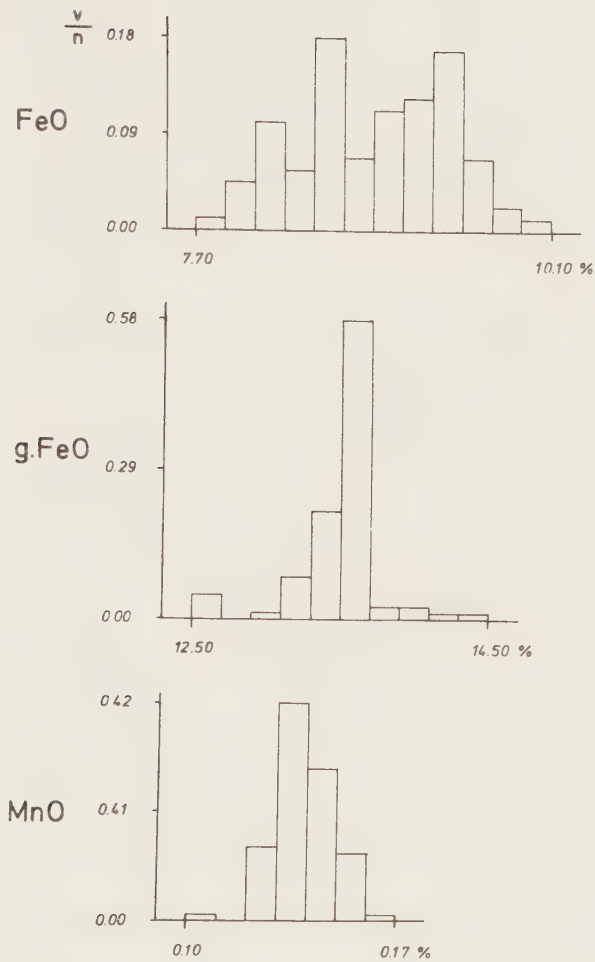


Abb. 9 Häufigkeitsverteilung von FeO -, g.FeO -, MnO - Oxide ermittelt aus 86 Gesteinsanalysen

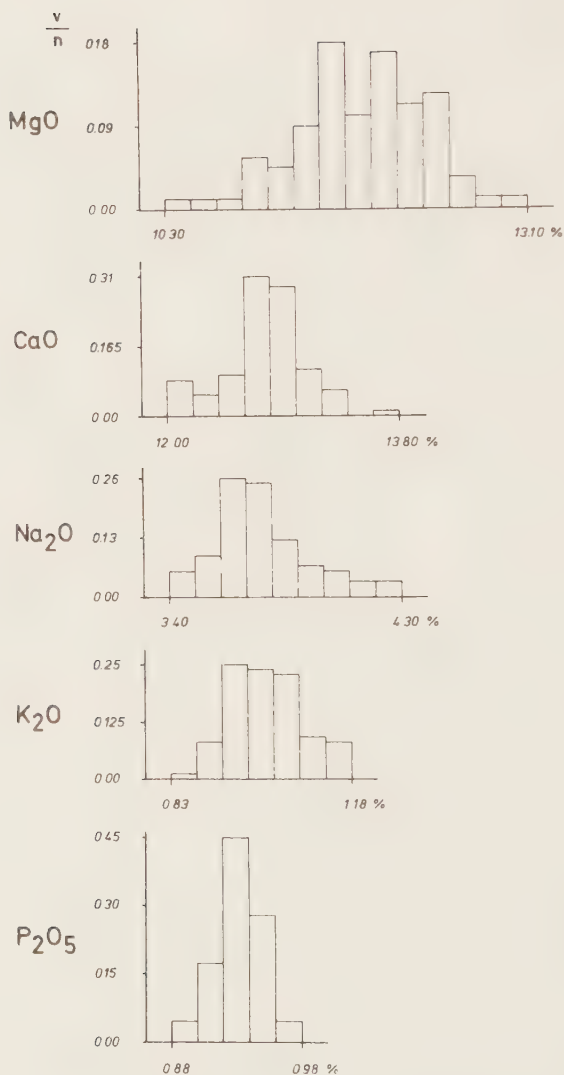


Abb. 10 Häufigkeitsverteilung von MgO -, CaO -, Na<sub>2</sub>O -, K<sub>2</sub>O -, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - Oxide ermittelt aus 86 Gesteinsanalysen

der einzelnen Oxide liegen bereits innerhalb der Fehlergrenze. ( Der relative Fehler bei der Bestimmung der chemischen Elemente wird im " Methodischen " Teil dieser Arbeit angegeben ).

Der Mineralbestand ist weitgehend gleich in allen Bereichen des Steinbruches. Die Modalanalysen von drei, etwa von der Mitte des Bruches und in den drei aufliegenden Profilen 20A, 20B, 20C genommenen Proben, ergaben den gleichen Mineralbestand ( s.S. 6 ). K.Söllner ( 1960 ) stellte zwischen Proben, die von der Oberfläche und von der Basis des Bruches stammen, einen Unterschied im Magnetitgehalt von bis zu 0.62% fest. Der höhere Magnetitgehalt an der Basis des Basaltkörpers, wurde von ihm als ein gravitatives Absinken dieses Minerals in situ aufgefasst.

Die Mineralanalysen von Olivin ( Einsprenglinge und Grundmasse ), Klinopyroxen ( Grundmasse ) und Nephelin aus den Proben 20A, 20B und 20C ergaben keinesfalls deutliche Unterschiede untereinander.

## V. Die Ultramafiteinschlüsse

Es werden die Ultramafiteinschlüsse, die im Olivinnephelinit und Nephelinbasanit vorkommen, untersucht.

Genügend Einschlüsse waren von den analysierten Vorkommen nur im Stbr. Teichelberg zu gewinnen. Es wurden auch Ultramafiteinschlüsse im Stbr. Zinster Berg genommen, da dieser Alkalibasalt ( Nephelinbasanit ) denen von Triebendorf und vom Rehberg gleicht.

### A. Petrographie

Die Ultramafiteinschlüsse sind regellos über den Basalt verstreut und erreichen bis 10 cm Größe ( im Teichelberg ) oder 20 cm ( im Zinster Berg ). Im Stbr. Triebendorf und Stbr. Rehberg erreichen diese eine Größe von 5 cm. Sie sind meistens frisch und zeigen eine körnige Beschaffenheit und eine typische flaschengrüne Farbe. Die Formen sind meist unregelmäßig, manchmal auch gerundet. Die Grenze zum Basalt ist scharf ausgeprägt. Vom Olivinnephelinit Stbr. Großer Teichelberg und vom Nephelinbasanit Stbr. Zinster Berg wurden jeweils aus allen Bereichen des Bruches 20 kg Ultramafiteinschlüsse gesammelt.

Probennummer für Einschlüsse aus Stbr. Teichelberg 92

Probennummer für Einschlüsse aus Stbr. Zinster Berg 93

Einen ausführlichen petrographischen Bericht der Ultramafiteinschlüsse vom Teichelberg gibt K. Söllner ( 1958 ).

Die Einschlüsse aus den beiden Vorkommen zeigen die gleiche Beschaffenheit in Mineralbestand und Struktur. Die Struktur ist xenomorph-körnig ( Abb.11 und Abb.12 ).



Abb. 11 Dünnschliffphoto . Ultramafiteinschlüsse mit xenomorph-körnigem Aggregat aus Olivin ( hell ), Pyroxen ( hellgrau mit erkennbaren Spaltrissen ) und Cr-Spinellen ( schwarz ). Unregelmäßige Risse durchziehen das ganze Aggregat. Länge des Bildausschnittes 7.8 mm. Schliff-Nr. 8927/1. Stbr. Teichelberg.

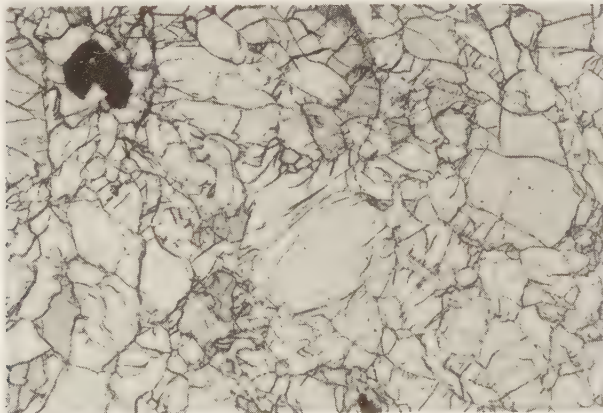


Abb. 12 Dünnschliffphoto. Eine ähnliche Beschaffenheit der Mineralkomponenten zeigen die Ultramafiteinschlüsse vom Stbr. Zinster Berg. Länge des Bildausschnittes 7.8 mm. Schliff-Nr. 8927/3.

Sie besteht aus einem Aggregat von Olivin, Enstatit, Cr-Diopsid und Cr-Spinell. Keines der Minerale besitzt Idiomorphie und keines zeigt Formregelung. Zwischen Basalt und Einschluß ist ein Reaktionssaum bis 2 mm Breite zu erkennen. In diesem Band nimmt der Nephelin vom Alkalibasalt in Richtung Einschluß stark ab und der Magnetit nimmt gleichzeitig zu.

Quantitativ ( in Gew. % ) setzen sich die Ultramafiteinschlüsse wie folgt zusammen:

| ( Je ein Schliff )      | Ol    | En    | Cr-Di | Cr-Sp |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Stbr. Teichelberg (91)  | 65.00 | 23.15 | 8.75  | 3.10  |
| Stbr. Zinster Berg (92) | 65.00 | 23.00 | 8.90  | 3.10  |

Olivin (91) : Fo 91.10 ; Olivin (92) : Fo 89.50

Enstatit (91) : Ca<sub>2.92</sub> Mg<sub>87.43</sub> Fe<sub>9.65</sub>

Enstatit (92) : Ca<sub>2.44</sub> Mg<sub>87.46</sub> Fe<sub>10.10</sub>

Cr-Diopsid (91) : Ca<sub>45.59</sub> Mg<sub>48.51</sub> Fe<sub>5.90</sub>

Cr-Diopsid (92) : Ca<sub>45.89</sub> Mg<sub>48.59</sub> Fe<sub>5.52</sub>

Die einzelne Minerale verhalten sich wie folgt:

Olivin erreicht 3.0 mm Größe und zeigt eine starke mechanische Beanspruchung, wobei er von zahlreichen unregelmäßig verlaufenden Rissen durchzogen wird. Der Achsenwinkel  $2V$  beträgt  $90^{\circ}$ . Die Form der xenomorphen Olivinkörner sind richtungslos orientiert. Manche zeigen Translationslamellen.

Enstatit ist halb so groß wie Olivin. Er ist farblos, der Achsenwinkel  $2V_z$  wurde zu  $82^{\circ}$  bestimmt.

Cr-Diopsid ist farblos bis schwach grünlich. Sein Auslöschungswinkel ist

$n_z \Delta \approx 40^\circ$  und  $2V_z$  schwankt um  $60^\circ$ .

Akzessorisch kommt abgerundeter Cr-Spinell vor. Er ist tiefbraun und bis zu 1 mm groß.

### B. Petrochemie

Die chemischen Analysen von Ultramafiteinschlüssen und ihrer Mineralphasen werden in den folgenden Tabellen zusammengestellt:

Tabelle 7 Gesteinschemismus von Ultramafiteinschlüssen und Wirtsalkalibasalten. Tabelle 8 - 11 Mineralanalysen ( Olivin, Enstatit, Cr-Diopsid, Cr-Spinell der Ultramafiteinschlüsse ).

CIPW - Normen der Einschlüsse, Strukturformeln und Mineralzusammensetzungen der Minerale wurden zu den dazugehörigen Analysen beigetragen. Die Reinheit der Minerale der Ultramafiteinschlüsse ist 100 %, denn die stets groben Körner konnten durch Handauslesen gewonnen werden.

Tabelle 7. Analysen von Ultramafiteinschlüsse und ihrer Wirtsgesteine

|                                | 91    | 92    | 93    | 94     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 44.27 | 44.24 | 39.28 | 43.87  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.11  | 0.03  | 2.96  | 2.07   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.88  | 2.79  | 11.54 | 12.28  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.82  | 0.82  | 5.05  | 3.07   |
| FeO                            | 7.69  | 7.44  | 8.95  | 7.85   |
| MnO                            | 0.15  | 0.15  | 0.13  | 0.17   |
| MgO                            | 40.13 | 40.98 | 11.89 | 11.84  |
| CaO                            | 2.38  | 2.36  | 12.77 | 12.49  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.17  | 0.16  | 3.76  | 3.96   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.24  | 0.20  | 1.02  | 0.69   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ---   | ---   | 0.92  | 0.95   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | ---   | ---   | 1.14  | 0.81   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | ---   | ---   | 0.45  | 0.23   |
| Summe                          | 99.38 | 99.76 | 99.86 | 100.28 |

CIPW - Normen in Gew. -%

|    |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|
| or | 1.11  | 1.11  | ---   | 3.89  |
| ab | 1.57  | 1.05  | ---   | 9.20  |
| an | 6.39  | 6.39  | 11.40 | 13.90 |
| lc | ---   | ---   | 4.80  | ---   |
| ne | ---   | ---   | 17.32 | 13.19 |
| cs | ---   | ---   | 0.83  | ---   |
| di | 4.38  | 3.66  | 32.60 | 34.26 |
| ol | 63.93 | 68.19 | 15.26 | 14.61 |
| hy | 18.50 | 16.48 | ---   | ---   |
| il | 2.13  | ---   | 5.62  | 3.95  |
| mt | 1.16  | 1.16  | 7.19  | 3.95  |
| cm | 0.90  | 0.90  | ---   | ---   |
| ap | ---   | ---   | 2.02  | 2.02  |

Tabelle 7a. Fortsetzung der Tabelle 7

Spurenelemente in ppm

|    | 91   | 92   | 93  | 94  |
|----|------|------|-----|-----|
| Cr | 5685 | 6670 | 258 | 242 |
| Ni | 2900 | 2690 | 233 | 196 |
| Co | 109  | 93   | 48  | 46  |
| Cu | 18   | 9    | 109 | 80  |
| V  | 58   | 52   | 259 | 194 |
| Zr | 25   | 22   | 160 | 198 |
| Sc | 12   | 11   | 35  | 42  |
| Y  | --   | --   | 30  | 48  |
| Sr | --   | --   | 788 | 916 |
| Ba | 18   | 20   | 402 | 442 |
| S  | 80   | 80   |     |     |

91 Ultramafiteinschlüsse aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

92 Ultramafiteinschlüsse aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Zinster Berg

93 Mittelwert aus 86 Analysen des Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

94 Nephelinbasanit vom Stbr. Zinster Berg

Tabelle 8. Olivinanalysen der Ultramafiteinschlüsse

|                                | 91    | 92    |    | 91   | 92   |
|--------------------------------|-------|-------|----|------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 40.69 | 41.26 | Cr | 148  | 156  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.03  | 0.03  | Ni | 3976 | 3600 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.03  | 0.02  | Co | 113  | 101  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.41  | 0.50  | Cu | 7    | 7    |
| FeO                            | 8.70  | 8.55  | V  | --   | --   |
| MnO                            | 0.09  | 0.11  | Zr | 25   | 17   |
| MgO                            | 49.45 | 48.86 | Sc | --   | --   |
| CaO                            | 0.10  | 0.11  | Y  | --   | --   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.03  | 0.03  | Sr | --   | --   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.01  | 0.01  | Ba | --   | --   |
| Summe                          | 99.54 | 99.48 |    |      |      |

Auf der Basis von 4 O

|                  |        |        |                                                      |       |       |
|------------------|--------|--------|------------------------------------------------------|-------|-------|
| Si               | 0.9980 | 1.0889 | Fe <sup>+2</sup>                                     | 8.97  | 10.48 |
| Al               | 0.0009 | 0.0006 | Mg                                                   | 91.03 | 89.52 |
| Ti               | 0.0004 | 0.0005 | Fe <sup>+2</sup> (1)                                 | 8.90  | 10.50 |
| Fe <sup>+3</sup> | 0.0075 | 0.0095 | Mg                                                   | 91.10 | 89.50 |
| Mg               | 1.8074 | 1.6111 |                                                      |       |       |
| Fe <sup>+2</sup> | 0.1782 | 0.1886 | Mg                                                   |       |       |
| Mn               | 0.0013 | 0.0019 | <hr/>                                                |       |       |
| Na               | 0.0013 | 0.0014 | Fe <sup>+2</sup>                                     | 10.24 | 8.52  |
| K                | 0.0003 | 0.0003 |                                                      |       |       |
| (Y) <sup>6</sup> | 1.9964 | 1.8133 | MgO                                                  |       |       |
|                  |        |        | <hr/>                                                |       |       |
|                  |        |        | Σ FeO                                                | 5.45  | 5.43  |
|                  |        |        | (Σ FeO = FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 0.9) |       |       |

(1) Bestimmung wurde röntgenographisch nach Jackson (1960) durchgeführt

91 Olivin aus den Ultramafiteinschlüssen des Teichelbergs

92 Olivin aus den Ultramafiteinschlüssen des Zinster Bergs

Tabelle 9. Enstatitanalysen der Ultramafiteinschlüsse

|                                | 91     | 92    |    | 91   | 92   |
|--------------------------------|--------|-------|----|------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 55.09  | 55.47 | Cr | 3740 | 3730 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.10   | 0.07  | Ni | 655  | 585  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.68   | 3.86  | Co | 54   | 58   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.30   | 1.13  | Cu | 10   | 11   |
| FeO                            | 5.21   | 5.36  | V  | 70   | 50   |
| MnO                            | 0.14   | 0.20  | Zr | 31   | 28   |
| MgO                            | 32.87  | 32.09 | Sc | 20   | 34   |
| CaO                            | 1.51   | 1.24  | Y  | --   | --   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.13   | 0.11  | Sr | --   | --   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.03   | 0.04  | Ba | --   | --   |
| Summe                          | 100.06 | 99.57 |    |      |      |

Auf der Basis von 6 O

|                  |        |        |                                             |       |       |
|------------------|--------|--------|---------------------------------------------|-------|-------|
| Si               | 1.9048 | 1.9227 | Σ Fe                                        | 9.65  | 10.10 |
| <sup>z</sup> Al  | 0.0952 | 0.0773 | Mg                                          | 87.43 | 87.46 |
| <sup>y</sup> Al  | 0.0557 | 0.0914 | Ca                                          | 2.92  | 2.44  |
| Ti               | 0.0021 | 0.0015 | Mg                                          |       |       |
| Fe <sup>+3</sup> | 0.0033 | 0.0030 | <hr/> Fe <sup>+2</sup>                      | 11.24 | 10.67 |
| Fe <sup>+2</sup> | 0.1501 | 0.1553 |                                             |       |       |
| Mn               | 0.0037 | 0.0062 | Mg 100                                      |       |       |
| Mg               | 1.6948 | 1.6570 | <hr/> Mg+Fe+Mn                              | 89.99 | 89.68 |
| Ca               | 0.0566 | 0.0462 | (Fe = Fe <sup>+3</sup> + Fe <sup>+2</sup> ) |       |       |
| Na               | 0.0081 | 0.0069 |                                             |       |       |
| K                | 0.0012 | 0.0017 | <sup>z</sup> Al 100                         |       |       |
|                  |        |        | <hr/> Si                                    | 4.99  | 4.02  |
| Z                | 2.0000 | 2.0000 |                                             |       |       |
| Y+X+W            | 1.9756 | 1.9692 |                                             |       |       |

91 Enstatit aus den Ultramafiteinschlüssen des Teichelbergs

92 Enstatit aus den Ultramafiteinschlüssen des Zinster Bergs

Tabelle 10. Cr - Diopsidanalysen der Ultramafiteinschlüsse

|                                | 91    | 92    |    | 91   | 92   |
|--------------------------------|-------|-------|----|------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 52.29 | 51.85 | Cr | 5910 | 5930 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.19  | 0.11  | Ni | 550  | 580  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.68  | 4.72  | Co | 29   | 34   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.84  | 0.62  | Cu | 12   | 11   |
| FeO                            | 2.71  | 2.68  | V  | 288  | 276  |
| MnO                            | 0.11  | 0.09  | Zr | 40   | 33   |
| MgO                            | 16.41 | 16.58 | Sc | 68   | 77   |
| CaO                            | 21.47 | 21.76 | Y  | --   | --   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.09  | 0.08  | Sr | --   | --   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.07  | 0.04  | Ba | 14   | 21   |
| Summe                          | 98.86 | 98.53 |    |      |      |

Auf der Basis von 6 O

|                  |        |        |                                             |       |       |
|------------------|--------|--------|---------------------------------------------|-------|-------|
| Si               | 1.9130 | 1.9040 | Σ Fe                                        | 5.90  | 5.52  |
| <sup>z</sup> Al  | 0.0830 | 0.9060 | Mg                                          | 48.51 | 48.59 |
| <sup>y</sup> Al  | 0.1142 | 0.1079 | Ca                                          | 45.59 | 45.89 |
| Ti               | 0.0059 | 0.0026 | Mg                                          |       |       |
| Fe <sup>+3</sup> | 0.0228 | 0.0181 | <hr/> Fe <sup>+2</sup>                      | 10.80 | 11.02 |
| Fe <sup>+2</sup> | 0.0837 | 0.0830 |                                             |       |       |
| Mn               | 0.0026 | 0.0020 | Mg 100                                      |       |       |
| Mg               | 0.8945 | 0.9077 | <hr/> 89.11                                 | 89.89 |       |
| Ca               | 0.8407 | 0.8574 | Mg+Fe+Mn                                    |       |       |
| Na               | 0.0059 | 0.0053 | (Fe = Fe <sup>+3</sup> + Fe <sup>+2</sup> ) |       |       |
| K                | 0.0031 | 0.0018 | <sup>z</sup> Al 100                         |       |       |
|                  |        |        | <hr/> 4.54                                  | 5.04  |       |
|                  |        |        | Si                                          |       |       |
| Z                | 2.0000 | 2.0000 | MgO                                         |       |       |
| Y+X+W            | 1.9734 | 1.9860 | <hr/> 4.73                                  | 5.12  |       |
|                  |        |        | Σ FeO                                       |       |       |

$$(\Sigma \text{FeO} = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0.9)$$

91 Cr - Diopsid aus den Ultramafiteinschlüssen des Teichelbergs

92 Cr - Diopsid aus den Ultramafiteinschlüssen des Zinster Bergs

Tabelle 11. Cr - Spinellanalysen der Ultramafiteinschlüsse

|                                | 91    | 92     |    | 91   | 92   |
|--------------------------------|-------|--------|----|------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 0.52  | 0.66   | Cr | ( )  | ( )  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.78  | 0.60   | Ni | 1850 | 2070 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 46.57 | 46.46  | Co | 148  | 161  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.67  | 5.80   | Cu | 28   | 26   |
| FeO                            | 11.09 | 12.40  | V  | 225  | 270  |
| MnO                            | 0.14  | 0.11   | Zr | 24   | 17   |
| MgO                            | 18.64 | 18.07  | Sc | 7    | 8    |
| CaO                            | ---   | ---    | Y  | --   | --   |
| Na <sub>2</sub> O              | ---   | ---    | Sr | --   | --   |
| K <sub>2</sub> O               | ---   | ---    | Ba | --   | --   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ---   | ---    |    |      |      |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 15.62 | 16.25  |    |      |      |
| Summe                          | 99.03 | 100.35 |    |      |      |

Auf der Basis von 32 O

|                    |         |         |                                                       |       |       |
|--------------------|---------|---------|-------------------------------------------------------|-------|-------|
| Si                 | 0.1102  | 0.1459  | Aus den chemischen Analysen<br>errechnete Entglieder: |       |       |
| Al                 | 11.9912 | 11.8708 |                                                       |       |       |
| A Cr               | 2.6969  | 2.7844  |                                                       |       |       |
| Fe <sup>+3</sup>   | 0.9279  | 0.9507  | MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                      | 75.10 | 72.09 |
| Ti                 | 0.1286  | 0.1042  | FeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                      | 1.69  | 3.98  |
| Mg                 | 6.0658  | 5.8228  | FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                      | 17.27 | 17.84 |
| B Fe <sup>+2</sup> | 2.0106  | 2.2530  | FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                      | 5.94  | 6.09  |
| Mn                 | 0.0236  | 0.0156  |                                                       |       |       |
| A                  | 15.8548 | 15.8560 |                                                       |       |       |
| B                  | 8.1000  | 8.0914  |                                                       |       |       |

91 Cr - Spinell aus den Ultramafiteinschlüssen des Teichelbergs

92 Cr - Spinell aus den Ultramafiteinschlüssen des Zinster Bergs

## VI. Diskussion

### A. Nomenklatur

#### 1) Die Alkalibasalte

Yoder & Tilley ( 1962 S. 352 ) unterscheiden Alkali- von den Tholeiitbasalten durch das Auftreten von normativem Olivin und Nephelin und durch das Fehlen von normativem Quarz und Hypersthen.

Macdonald & Katsura ( 1964 S. 87 ) nehmen das Verhältnis der Summe der Alkalien gegen den  $\text{SiO}_2$ -Gehalt als unterscheidend für die Trennung der Alkali- von den Tholeiitbasalten. Die in dieser Arbeit untersuchten Vulkanite fallen sowohl nach Yoder & Tilley als auch nach Macdonald & Katsura im weiteren Sinne in die Gruppe der Alkalibasalte. ( Abb. 13 und Abb. 14 ).

Die genauere Benennung der einzelnen Glieder der Alkalibasaltfamilie wird nach den Nomenklaturen von Macdonald & Katsura ( 1964 ) und Green ( 1970 ) durchgeführt.

Green ( 1970 S. 221 ) verlangt vom Basanit, daß er normativ Olivin, Nephelin  $> 5\%$  und Albit  $> 2\%$  enthält.

Macdonald & Katsura ( 1964 S.89 ) führt für Basanit normativen Nephelin  $> 5\%$  und modalen Plagioklas und Nephelin an.

Alkalibasalte mit mehr als  $5\%$  normativem Nephelin werden Nephelinbasanite genannt.

Olivinnephelinit enthält nach Green ( 1970 S. 221 ) normativen Olivin und Nephelin, normativen Albit  $< 2\%$ , normativen Orthoklas und / oder Leucit, aber keinen normativen Larnit.

Nach diesem Schema sind die Alkalibasalte vom Großen Teichelberg, Rauhen Kulm und Steinhügel bei Pechbrunn als Olivinnephelinite, die Alkalibasalte von Triebendorf und Rehberg als Nephelinbasanite anzusprechen, wie es im

bisherigen Text schon gehandhabt wurde.

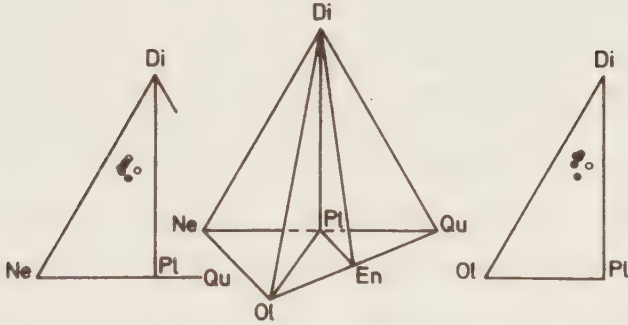


Abb. 13 Einfaches Basaltsystem ( Di-Ne-Ol-Qu ) nach Yoder & Tilley (1962).

Di-Ol-Pl ist die kritische Fläche der Si-Untersättigung. Die Projektionspunkte der ● Olivinnephelinite und ○ Nephelinbasanite liegen auf den Flächen Di-Ne-Pl und Di-Ol-Pl.

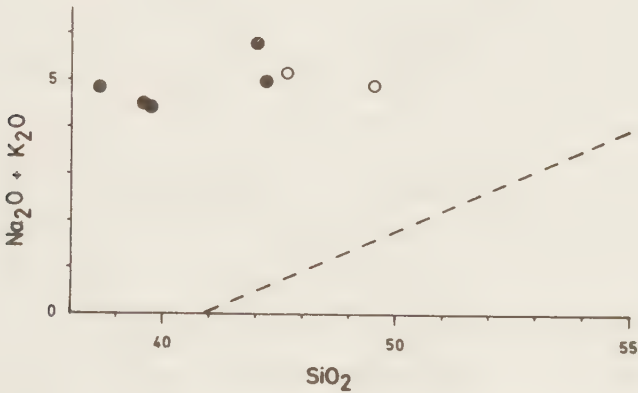


Abb. 14 Alkali-SiO<sub>2</sub> Abhängigkeit zur Trennung von Alkali- und Tholeiitbasalten nach Macdonald & Katsura (1964). Oberhalb der Grenzlinie ( ---- ) liegen Alkalibasalte, unterhalb Tholeiitbasalte. Projektionspunkte der ● Olivinnephelinite und ○ Nephelinbasanite.

## 2) Die Ultramafiteinschlüsse

Die Benennung der Ultramafiteinschlüsse wird im Gegensatz zu den Vulkaniten nicht nach ihrer Norm, sondern nach ihrem Modalgehalt (in Gew. %) durchgeführt ( Tröger 1969; Jackson 1968 ).

Nach Tröger (1969 S. 292 ) gehören alle Arten der Ultramafiteinschlüsse in die Familie der Peridotite und können z.T. schon im Dreieck Olivin-Diopsid - Enstatit dargestellt werden. Auf Abb. 15 ist in dieses Dreieck mit je einem Einschluß vom Stbr. Teichelberg und Stbr. Zinster Berg eingetragen. Sie fallen in die Nähe der Olivinecke und sind als Lherzolithe zu bezeichnen.

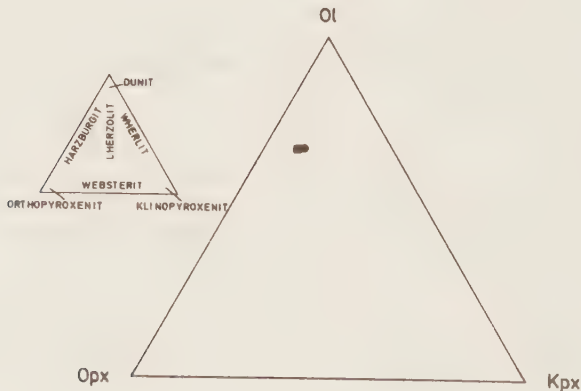


Abb. 15 Zur Nomenklatur der Ultramafiteinschlüsse nach Jackson (1968) auf der Basis des modalen Mineralbestandes der Gesteine ( in Gew. % ) im Ol-Opx-Kpx-Dreieck. ■ lherzolithische Einschlüsse aus dem Stbr. Teichelberg, ● lherzolithische Einschlüsse aus dem Stbr. Zinster Berg.

Die Definition des Lherzoliths ( nach Lac du Lherz ) hat sich in den letzten 100 Jahren nicht wesentlich geändert.

Für Damour ( 1862 ) sind Lherzolithe Gesteine aus Olivin, Enstatit, grünem chromführenden Diopsid und akzessorischem Chromspinnell. Lacroix ( 1894, 1895 ) ergänzt den obengenannten Mineralbestand durch geringfügige Mengen brauner Hornblende.

### 3) Die Minerale der Alkalibasalte und Ultramafiteinschlüsse

#### a) Olivine

Die untersuchten Olivine sind

##### 1) Forsterite und Chrysolithe (Olivine aus Ultramafiteinschlüssen)

Fo 8.97; 10.50.

##### 2) Chrysolithe, Olivineinsprenglinge der Olivinnephelinite

##### 3) Chrysolithe, Olivine der Grundmasse aus Olivinnepheliniten und Nephelinbasaniten.

#### b) Klinopyroxene der Alkalibasalte

Sie wurden nach der von Poldervaart & Hess ( 1951 ), Tröger ( 1951 ) und Yagi ( 1953 ) eingeführten Nomenklatur benannt.

Dazu sind die Ca - Mg - Fe - Werte ( errechnet nach Oosterom 1963 ) in das Pyroxentrapez Abb. 16 eingezeichnet.

Ihre Projektionspunkte liegen um die 45 Ca - Linie, im Bereich der Klinopyroxene, zwischen Augit und Salit.

Die Grundmassepyroxene 87 ( G ) und 89 ( G ) liegen bereits im salitischen Bereich und enthalten außerdem einen höheren Ti- und Na-Gehalt als die

anderen. Sie sind als Ca-Ti-Na-reiche Salite bezeichnet worden.

Die Grundmassepyroxene 20A und 20B sind Ca-Ti-reiche Augite, die der anderen Proben Ca-Ti-reiche salitische Augite.

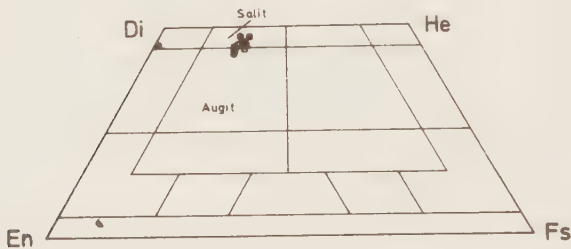


Abb. 16 Zur Nomenklatur der Pyroxene nach Poldervaart & Hess ( 1951 ).

Klinopyroxene der Olivinnephelinite: ○ Einsprenglinge ● Grundmasse,

Klinopyroxene der Nephelinbasanite: □ Einsprenglinge ■ Grundmasse,

Ultramafiteinschlüsse: Δ Orthopyroxene ( Enstatit ), ▲ Klinopyroxene (Diopsid)

#### c) Die Klinopyroxene und Orthopyroxene der Ultramafiteinschlüsse

Diese sind in das gleiche Pyroxentrapez ( Abb. 16 ) eingezeichnet worden.

Die Klinopyroxene liegen im Diopsidbereich. Da ihr Chromgehalt ziemlich hoch ist, sind sie als Cr-Diopside anzusprechen. Die Orthopyroxene fallen in das Enstatitfeld.

## B. Geochemie

Im folgenden Kapitel wird versucht, anhand der chemischen Analysen die Differentiation der alkalibasaltischen Schmelze zu klären. Als spezielle Darstellungen zu diesem Zweck wurden gewählt:

### A. von Gesteins- und Mineralanalysen der Alkalibasalte

1. das Verhalten Haupt- und Spurenelemente der Basalte gegen den "Differentiationsfaktor"  $(1/3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg})$  - nach Nockolds & Allen ( 1954 );
2. das Verhalten wichtiger Elemente der Olivine gegen ihren Fo-Gehalt;
3. das Verhalten der Klinopyroxenformenden Kationen der Spurenelemente gegen den  $\Sigma \text{Fe}$ -Gehalt ( nach Huckenholz 1965 / 1966 );
4. das Verhalten der Elemente in Nephelin;
5. das Verhalten der Elemente in Plagioklas;

### B. von Gesteins- und Mineralanalysen der Ultramafiteinschlüsse

1. das Verhalten der Elemente in den Ultramafiteinschlüssen und
2. das Verhalten der Elemente in ihren Mineralen.

## 1. Das Verhalten der Haupt- und Spurenelemente der Alkalibasalte

Der Chemismus der Olivinnephelinit- und Nephelinbasanitgesteine der Oberpfalz ist vergleichbar mit dem der Alkalibasalte anderer Provinzen, wie südliche Hocheifel ( Chauduri 1970 ), Rhön ( Ficke 1960 ), Nordhessen ( Gramse 1970 ), Oberrheingraben ( Wimmenauer 1970 ), Hawaii ( Macdonald 1968 ) u. a.

Olivinnephelinit und Nephelinbasanit unterscheiden sich vor allem durch die Oxide  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  und  $\text{CaO}$ , die in dem Olivinnephelinit angereichert sind. Bei den anderen Oxiden bestehen geringe Unterschiede.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Na}_2\text{O}$  sind mehr im Nephelinbasanit enthalten und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$  zeigen keinen Unterschied.

In Abb. 17 sind die Kationengehalte in Gew. % ( ermittelt aus den Oxidgehalten der Gesteinsanalysen ), gegen den "Differentiationsfaktor"  $1/3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$  aufgezeichnet.

Der "Differentiationsfaktor" wurde von Nockolds & Allen ( 1954 ) für die Alkalibasalt  $\longrightarrow$  Trachyt - Assoziation von Hawaii und Polynesien eingeführt. Er ist ein empirischer Maßstab für den Grad der Differentiation von basischen zu sauren Gesteinen. Nach Abb. 17 lassen sich trotz der Streuung der Projektionspunkte, bedingt durch die geringe Anzahl der Gesteinsanalysen, allgemeine Tendenzen für einige Elemente ablesen.

So ist für Silicium ein Ansteigen von Olivinnephelinit zu Nephelinbasanit zu sehen, das im Einklang mit dem Differentiationstrend steht, denn die ersten aus der Schmelze abgesaigerten Mineralphasen enthalten weniger Silicium als die Schmelze, so daß sich in der Restschmelze Silicium anreichert.

Titan bleibt fast konstant oder nimmt leicht ab. Es wird vor allem in Titanomagnetit eingebaut.

Aluminium nimmt leicht von Olivinnephelinit zu Nephelinbasanit zu.

Beim Eisen kommt der Differentiationsvorgang nicht deutlich heraus, weil hier ein anderer Faktor mitspielt. Aus der allgemeinen Tendenz der Differentiation ist zu erwarten, daß das  $\text{Fe}^{+2}/\text{Mg}$  Verhältnis und der  $\text{Fe}^{+2}$ -Gehalt zunimmt. Im Laufe der Differentiation wird zuerst Mg wegen seines

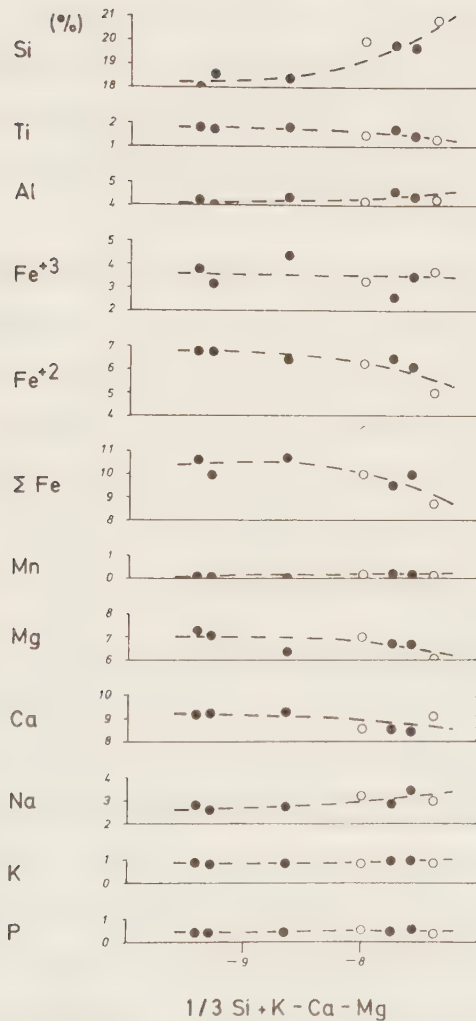


Abb. 17 Das Verhalten der Hauptelemente der Gesteine in Abhängigkeit vom "Differentiationsfaktor" ( $1/3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$ ) nach Nockolds & Allen (1954). ● Olivinnephelinit, ○ Nephelinbasanit. Die Reihenfolge der Proben nach rechts: 1) 20C; 2) 20A; 3) 20B; 4) 90; 5) 88; 6) 87; 7) 89 (s. Tab. 1).

Ionenradius ( $0.66 \text{ \AA}$ ) eingebaut,  $\text{Fe}^{+2}$  ( $0.74 \text{ \AA}$ ) reichert sich an. Das kann ohne weiteres in einem reduzierenden Milieu geschehen. In unserem Fall nimmt der  $\text{Fe}^{+2}$ -Gehalt aber leicht ab, was auf eine Oxidation der Schmelze zurückgeführt wird, die  $\text{Fe}^{+2}$  in  $\text{Fe}^{+3}$  überführt. Dies zeigt sich in größerer Erzausscheidung im Nephelinbasanit. (Vergleiche auch den petrographischen Teil dieser Arbeit).

Mangan ist in sehr kleinen Mengen vorhanden und bleibt fast unverändert.

Der Magnesium - Gehalt nimmt entsprechend der Voraussage ab und der größere Teil wird in Olivin und der kleinere in die Pyroxene eingebaut.

Calcium zeigt eine leichte Abnahme. Es wird zuerst in die Klinopyroxene und dann in die Plagioklase eingebaut, was dadurch bestätigt wird, daß Plagioklas erst im Nephelinbasanit modal auftritt.

Für die Alkalien Natrium und Kalium sind Nephelin der Olivinnephelinite und Plagioklas der Nephelinbasanite die Hauptträger, während sie in den frühausgeschiedenen Mineralen Olivin, Pyroxen, nur in Spuren vorkommen. Das Differentiationsverhalten der Alkalien ist schwierig. Während Natrium einen kleinen Anstieg zeigt, bleibt Kalium fast unverändert. Das Verhalten des Kaliums kann dadurch geklärt werden, daß man die in Nephelin und Plagioklas eingebauten Kalium-Mengen berücksichtigt. An den chemischen Analysen beider Minerale zeigt sich, daß Nephelin fast fünfmal mehr Kalium einbaut als der Plagioklas. Dies bewirkt, daß die Kalium-Kurve nicht ansteigt, sondern horizontal verläuft. Die Variation der Hauptelemente von Olivinnephelinit und Nephelinbasanit in Abhängigkeit vom empirischen "Differentiationsfaktor" von Nockolds und Allen beweist einen Zusammenhang dieser Vulkanite. Die Schmelze hat sich durch Kristallisationsdifferentiation von Olivinnephelinit in Richtung auf Nephelinbasanit verändert.

Auch die Spurenelemente liefern ein weiteres Argument für die Differentiation der basaltischen Schmelze von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit. Zu diesem Zweck wurden die Spurenelementgehalte wie die Hauptelemente in Abhängigkeit von dem "Differentiationsfaktor" ( $1/3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$ ) dargestellt (Abb. 18).

### Chrom

Die basaltischen Gesteine besitzen einen Chromgehalt bis 500 ppm. Ein Durchschnittswert nach den bisherigen Ergebnissen liegt bei 140 ppm (s. Prinz 1967, S. 278). Chrom kann als Hauptelement in Minerale, wie Chromit und Picotit, eingebaut werden. Wegen seines Ionenradius ( $\text{Cr}^{+3} \text{ } 0.64 \text{ \AA}$ ) kann es im Gitter der Pyroxene hauptsächlich  $\text{Fe}^{+3} \text{ } (0.64 \text{ \AA})$  und  $\text{Ti}^{+4} \text{ } (0.64 \text{ \AA})$  vertreten. Klinopyroxene enthalten so auch den Hauptanteil des Chroms der Basalte. Chrom soll im Laufe einer Magmadifferentierung abnehmen (Fröhlich 1960). Der Chromgehalt in Olivinnephelinit und Nephelinbasanit ist nicht sehr unterschiedlich. Die Olivinnephelinite enthalten 250 - 268 ppm Cr, die Nephelinbasanite 247 - 250 ppm. In Abb. 18 nimmt Chrom von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit ab.

### Nickel

In den basaltischen Gesteinen liegt der Durchschnittswert bei 90 ppm (s. Prinz 1967, S. 278-279). Der Ionenradius von Ni ist  $0.69 \text{ \AA}$  und Nickel vertritt Magnesium ( $\text{Mg}^{+2} \text{ } 0.66 \text{ \AA}$ ) hauptsächlich in Olivin, weniger in Pyroxen und Hornblende. Nickel zeigt wie Magnesium eine Abnahme im Differentiationsablauf. Die Untersuchungen ergaben einen Nickelgehalt von 213 - 236 ppm im Olivinnephelinit und 185 - 198 ppm im Nephelinbasanit. In Abb. 18 nimmt der Nickelgehalt von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit ab.

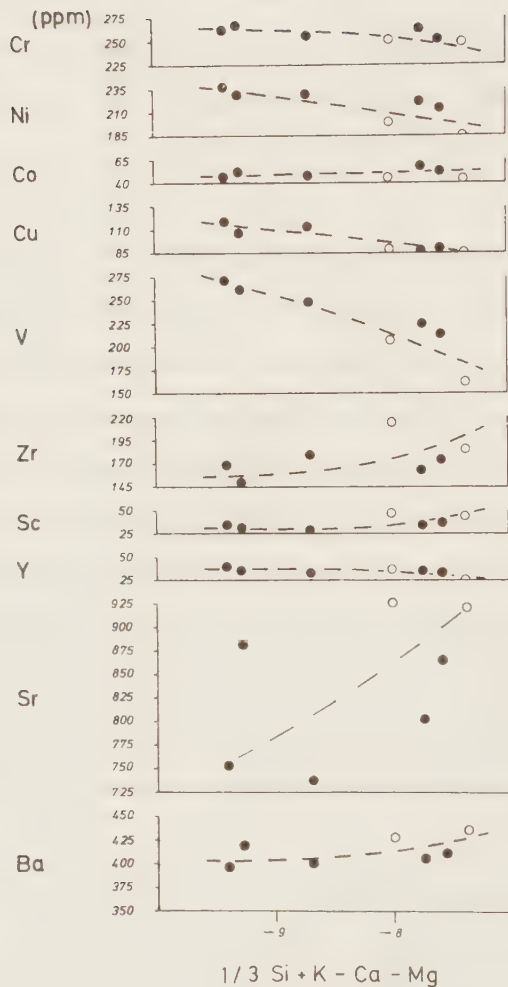


Abb. 18 Das Verhalten der Spurenelemente der Gesteine in Abhängigkeit vom "Differentiationsfaktor" ( $1/3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$ ). ● Olivinnephelinit  
○ Nephelinbasanit. Die Reihenfolge der Proben ist wie in Abb. 17.

### Kobalt

Der Durchschnittswert von Kobalt in basaltischen Gesteinen beträgt 40 ppm. Eigene Bestimmungen ergaben 46 - 57 ppm Kobalt im Olivinnephelinit und 44 - 45 ppm Kobalt im Nephelinbasanit. Der Ionenradius von Kobalt ( $0.72 \text{ \AA}$ ) ist ähnlich dem von  $\text{Mg}^{+2}$  ( $0.66 \text{ \AA}$ ) und  $\text{Fe}^{+2}$  ( $0.74 \text{ \AA}$ ) und vertritt bevorzugt  $\text{Mg}^{+2}$  in Olivin und  $\text{Fe}^{+2}$  in Klinopyroxen. Kobalt nimmt allmählich mit der Differentiation eines basaltischen Magmas ab. Nach Prinz (1967 S. 300) spielt Kobalt generell eine kleine Rolle im Differentiationsverlauf. Kobalt zeigt auch eine geringe Abnahme von Olivinnephelinit zu Nephelinbasanit.

### Kupfer

Der Kupfergehalt im Olivinnephelinit erreicht 86 - 119 ppm und im Nephelinbasanit 86 - 87 ppm. Prinz (1967 S. 278) schätzt die Kupfergehalte in basaltischen Gesteinen auf 100 ppm. Eine Anreicherung des Kupfers ist vorwiegend in ultramafischen und basischen Gesteinen anzutreffen. Sie nehmen aber mit der Differentiation deutlich ab. Kupfer kann  $\text{Fe}^{+2}$  in Pyroxen, Amphibolen, Olivin und Biotiten vertreten und Na in Plagioklasen. In Abb. 18 läßt sich die Abnahme von Kupfer in Richtung zu Nephelinbasanit erkennen.

### Vanadium

Der Olivinnephelinit hat einen Vanadium-Gehalt von 217 - 270 ppm und der Nephelinbasanit einen von 161 - 206 ppm. Der Durchschnittswert für Vanadium in basaltischen Gesteinen beträgt 247 ppm (Prinz 1967, S. 279), wobei Tholeiitbasalte mehr Vanadium als die Alkalibasalte haben. Die dreiwertige ( $\text{V}^{+3} 0.74 \text{ \AA}$ ) und die vierwertige ( $\text{V}^{+4} 0.63 \text{ \AA}$ ) Oxidationsstufe des Vanadiums kann  $\text{Fe}^{+3}$  ( $0.63 \text{ \AA}$ );  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$  ( $0.64 \text{ \AA}$ ) und vielleicht auch  $\text{Ti}^{+4}$  ( $0.64 \text{ \AA}$ ) vorwiegend in Magnetit und weniger in Pyroxen

vertreten. Magnetit und Pyroxen intermediärer Gesteine haben einen höheren Vanadiumgehalt als in späteren Kristallisaten ( Wager & Mitchell 1951, S. 185; Wilkinson 1959, S. 133 ).

Die Abb. 18 zeigt deutlich die Abnahme des Vanadiums von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit.

### Zirkonium

Der Zirkoniumgehalt der untersuchten Gesteine ist relativ hoch, verglichen mit dem durchschnittlichen Wert der basaltischen Gesteine nach Prinz ( 1967, S. 280 ), der bei 116 ppm liegt. Die Olivinnephelinite haben einen Zirkoniumgehalt von 145 - 178 ppm und die Nephelinbasanite einen von 184 - 214 ppm. In den basaltischen Gesteinen ist Zirkonium hauptsächlich in Pyroxen angereichert. Allgemein haben die Alkalibasalte mehr Zr als die Tholeiite. Nach Chao & Fleisher ( 1960, S. 177 ) nimmt der Zirkoniumgehalt bei der Differentiation eines basaltischen Magmas zu. Die Zunahme des Zirkoniumgehalts ist proportional zu der von  $\text{SiO}_2$  und umgekehrt proportional zu dem Verhältnis  $\text{CaO} / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ . Die Abb. 18 zeigt die Zunahme des Zirkoniums von Olivinnepheliniten in Richtung Nephelinbasaniten.

### Scandium

Der Scandiumgehalt in den Olivinnepheliniten liegt zwischen 25 und 34 ppm, in den Nephelinbasaniten zwischen 43 und 45 ppm. Der durchschnittliche Wert in den basaltischen Gesteinen beträgt 30 ppm ( Prinz 1967, S. 309 ). Mit dem Ionenradius von  $0.81 \text{ \AA}$  kann Scandium  $\text{Fe}^{+2}$  und  $\text{Mg}^{+2}$  in Pyroxen, Amphibol und auch in Biotit vertreten. Scandium zeigt in Abb. 18 eine leichte Zunahme von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit.

### Yttrium

In basaltischen Gesteinen liegt der Durchschnittswert von Yttrium bei 30 ppm ( Prinz 1967, S. 279 ). Die Olivinnephelinite haben einen Gehalt von 32 - 38 ppm und die Nephelinbasanite einen von 25 - 36 ppm. Der Ionenradius von  $Y^{+3}$  ist  $0.92 \text{ \AA}$  und Yttrium kann  $Ca^{+2}$  in Apatit und Klinopyroxen vertreten. Yttrium reichert sich erst in den Spätkristallisaten an. In Abb. 18 nimmt Yttrium von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit ab.

### Strontium

Die Strontiumgehalte in den Olivinnepheliniten schwanken von 735 - 880 ppm und in den Nephelinbasaniten von 920 - 925 ppm. Alkalibasalte haben einen Durchschnittswert von 774 ppm Strontium ( Prinz 1967, S. 279 ). Strontium wird hier hauptsächlich in die calciumreichen Minerale eingebaut, wie Plagioklas, Klinopyroxen, Apatit, bei hoher Temperatur auch in die kaliumreichen Minerale, wie Kalifeldspat und Leucit. Strontium wird im Laufe der Kristallisation erst in der Restschmelze angereichert. Wager & Mitchell ( 1951, S. 194 ) fanden, daß Strontium in Restschmelzen erst zunimmt und gegen Ende der Entwicklung wieder abnimmt. Die Projektionspunkte des Strontiums in Abb. 18 streuen vor allem bei den Olivinnepheliniten sehr. Die Nephelinbasanite haben hier höhere Strontiumgehalte.

### Barium

Der Durchschnittswert des Bariums in basaltischen Gesteinen beträgt 300 ppm ( Prinz 1967, S. 284-85 ). Die Olivinnephelinite haben einen Bariumgehalt von 393 - 415 ppm und die Nephelinbasanite einen von 426 - 435 ppm. Der Ionenradius von Barium ist  $1.34 \text{ \AA}$  und Barium vertritt das Kalium ( $1.33 \text{ \AA}$ ) der Feldspäte und Feldspatvertreter. Wager & Mitchell ( 1951,

S. 195 ) fanden, daß sich der Bariumgehalt mit der Differentiation eines basaltischen Magmas nicht einheitlich ändert, er nimmt häufiger zu als ab. Aus der Abb. 18 ist eine Zunahme des Bariums in Richtung Nephelinbasanit zu erkennen.

Zusammenfassend ist folgendes zu sagen:

Trotz gelegentlicher starker Streuung der Projektionspunkte mancher Elemente ergibt sich, daß Cr, Ni, Cu, V und Y mit dem "Differentiationsfaktor" abnehmen, während Zr, Sc, Sr und Ba ansteigen.

Dies entspricht den bisherigen Kenntnissen über die Differentiation basaltischer Schmelzen und den Beobachtungen anderer Autoren, wie Wager & Mitchell ( 1951 ), Nockolds & Allen ( 1954 ), Wilkinson ( 1959 ) u.a. an Differentiationsserien von Alkalibasalt-Assoziationen und Skaergaard Intrusion.

## 2. Das Verhalten der Elemente in den Mineralen

### a. Olivin

Wie aus dem Kristallisationsablauf einer Schmelze hervorgeht, scheiden sich zuerst Fo - reichere Olivine und später die Fa - reicheren aus. Damit steht im Einklang, daß die Analysen ( Tab. 2, 2a ) der Olivineinsprenglinge und der Olivine der Grundmasse einen Fo-Unterschied von 14 Mol. % zeigen. Der Verlauf der wichtigsten Elemente ( Haupt - und Spurenelemente ) wird in Abhängigkeit vom jeweiligen Fo - Gehalt als Maß der Differentiation studiert. In Abb. 8, 9, 10 sind die Gehalte von Al, Cr, Ni, Co, Cu und Ca eingetragen.

### Aluminium

Der Aluminiumgehalt der Olivinnephelinit - Olivine liegt zwischen 212 ppm und 423 ppm, der der Nephelinbasanit - Olivine erreicht 264 ppm. Aus Abb. 19 läßt sich erkennen, daß Al aller Olivinnephelinit - Olivine mit abnehmendem Fo - Gehalt zunimmt. Dagegen bleibt das Al der Nephelinbasanit - Olivine unverändert. Die Verbindungslinie der Nephelinbasanit - Olivine fällt teilweise mit der Differentiationskurve der Olivinnephelinit - Olivine zusammen. Zunahme von Al mit abnehmendem Fo - Gehalt ist auch von Iida et al. ( 1961 ) in vulkanischen Gesteinen von Japan festgestellt worden.

### Chrom

Der Chromgehalt überwiegt in den Olivinnephelinit - Olivinen ( 104 - 195ppm ), die Nephelinbasanit - Olivine haben nur 91 - 116 ppm Cr. Die Aufnahme des Chroms im Olivin ist sehr begrenzt ( $\ll 100$  ppm ), nach Fröhlich ( 1960 ). Höhere Chromgehalte in Olivin können auf Einschlüsse von Chromspinell zurückgeführt werden, da Chromspinelle ( Chromit, Picotit ) in den basaltischen Gesteinen zum größten Teil vor dem Olivin ausgeschieden werden. In Abb. 19 nimmt der Cr - Gehalt mit abnehmendem Fo - Gehalt in den Olivinnephelinit - Olivinen sowie auch in den Nephelinbasanit - Olivinen ab. Dieses Verhalten des Chroms könnte durch die verminderte Kristallisation von Cr - Spinell mit fortschreitender Differentiation erklärt werden.

### Nickel

Nickel kann das  $Mg^{+2}$  und  $Fe^{+2}$  der Olivine vertreten. Ni vertritt  $Mg^{+2}$  wegen des ähnlichen Ionenradius (  $Mg^{+2} = 0.66 \text{ \AA}$ ,  $Ni^{+2} = 0.69 \text{ \AA}$  ) nach

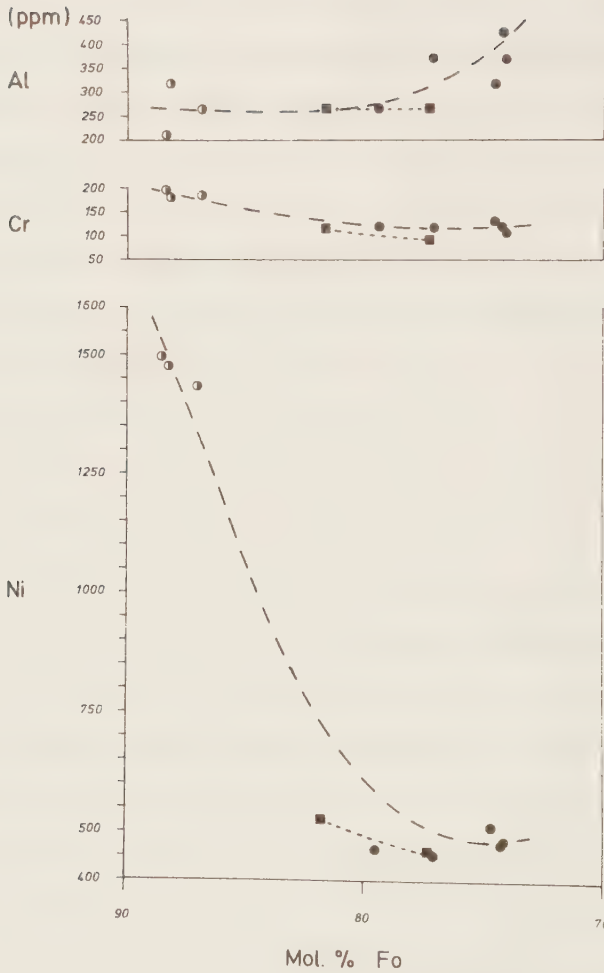


Abb. 19 Spurenelemente der Olivine in Abhängigkeit vom Mol. % - Gehalt an Fo. ○ Olivineinsprenglinge der Olivinnephelinite, ● Grundmasseolivine der Olivinnephelinite, ■ Grundmasseolivine der Nephelinbasanite. In der Reihenfolge des abnehmenden Fo - Gehaltes: 1) 20B(E); 2) 20A(E); 3) 20C(E); 4) 89(G); 5) 87(G); 6) 90(G); 7) 88(G); 8) 20B(G); 9) 20A(G); 10) 20C(G).

Goldsmith ( 1937 ) und  $\text{Fe}^{+2}$  wegen der ähnlichen Elektronegativität (  $\text{Fe}^{+2} = 1.65$ ,  $\text{Ni}^{+2} = 1.7$  ) nach Ringwood ( 1955 ). So ist Ni ausgesprochen in Mg - reichen Olivinen konzentriert, mit Fe - Anreicherung im Laufe der Differentiation nimmt sein Gehalt ab ( Iida et al. 1961 und Wager & Mitchell 1951 ). Eigene Bestimmungen der untersuchten Olivine liefern für die Olivineinsprenglinge der Olivinnephelinite einen Ni - Gehalt von 1432 bis 1496 ppm, für die Grundmasseolivine der gleichen Gesteine einen Gehalt von 453 bis 512 ppm Ni, während die Ni - Gehalte der Nephelin-basanit - Olivine zwischen 460 und 525 ppm liegen. Deutlich ist die Abnahme des Ni - Gehaltes in Abb.19 mit abnehmenden Fo %en ausgeprägt.

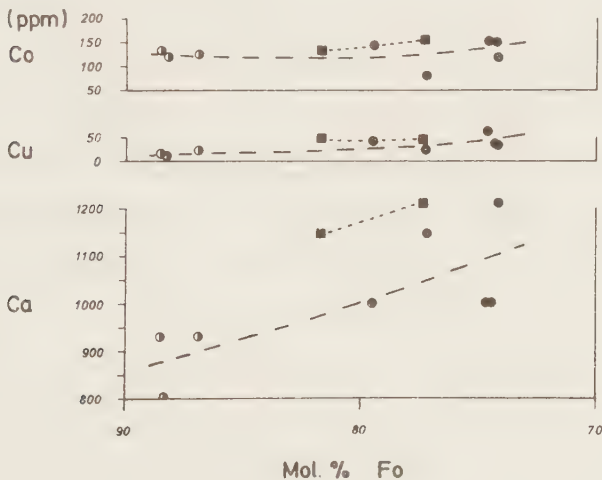


Abb. 20 Spurenelemente der Olivine in Abhängigkeit vom Mol.% - Gehalt an Fo wie in Abb. 19.

### Kobalt

Wegen den ähnlichen Ionenradien und Elektronegativitäten (  $\text{Co} = 0.72 \text{ \AA}$ ,  $\text{Fe}^{+2} = 0.74 \text{ \AA}$ ;  $\text{Co} = 1.7$ ,  $\text{Fe}^{+2} = 1.65$  ) kann Kobalt das  $\text{Fe}^{+2}$  vertreten und ist in Mg - ärmeren Olivinen angereichert. Die Co - Gehalte in den Olivinnephelinit - Olivinen liegen bei 80 bis 155 ppm, in den Nephelinbasanit - Olivinen bei 134 bis 155 ppm. In Abb. 20 ist die Änderung des Co - Gehaltes nicht eindeutig festzulegen.

### Kupfer

Kupfer kann im Olivin als Sulfid oder als gediegen Kupfer eingelagert sein. Theoretisch könnte Cu das  $\text{Fe}^{+2}$  vertreten, denn die Ionenradien (  $\text{Cu}^{+2} = 0.72 \text{ \AA}$ ,  $\text{Fe}^{+2} = 0.74 \text{ \AA}$  ) stimmen fast überein, jedoch ist der Unterschied der Elektronegativitäten (  $\text{Cu} = 2.0$ ,  $\text{Fe}^{+2} = 1.65$  ) sehr groß. Es ist deshalb nicht sicher, ob es auch in das Olivin Gitter eingebaut wird. Die Cu - Gehalte in den Olivinnephelinit - Olivinen schwanken von 11 bis 62 ppm und in den Nephelinbasanit - Olivinen von 42 bis 46 ppm. Aus Abb. 20 läßt sich eine leichte Zunahme des Kupfers mit abnehmendem Fo - Gehalt erkennen. Dieses Verhalten des Kupfers wurde auch von Iida et al. ( 1961 ) und Wager & Mitchell ( 1951 ) festgestellt.

### Calcium

Calcium variiert in den Olivinnephelinit - Olivinen von 786 bis 1215 ppm und in den Nephelinbasanit - Olivinen von 1145 bis 1215 ppm. In Abb. 20 nimmt Ca mit abnehmendem Fo - Gehalt zu. Ähnlich verhalten sich die Ca - Gehalte von Olivinen, die Iida et al ( 1961 ) und Wager & Mitchell ( 1951 ) untersucht haben.

Zusammenfassend ist aus dem Verhalten der Spurenelemente der Olivine

beider Gesteine ( Olivinnephelinit und Nephelinbasanit ) folgendes zu sagen:  
Mit abnehmendem Fo - Gehalt nehmen die Elemente Al, Co, Cu und Ca zu, während Cr und Ni abnehmen, was nach dem bisherigen Kenntnisstand der normalen Differentiation aus einer Schmelze entspricht.

Nähezu alle Spurenelementgehalte für Einsprenglings- und Grundmasseolivine der Olivinnephelinite liegen auf einer Verbindungslinie. Auch die Verbindungslinie für die Grundmasseolivine der Nephelinbasanite verläuft gleichsinnig und bestätigt den genetischen Zusammenhang beider Gesteine.

#### b. Klinopyroxen

Die chemischen Analysen aller Klinopyroxene zeigen auf den ersten Blick keine großen Unterschiede untereinander. Aus den kleinen Unterschieden der Gehalte einiger Oxide sind Hinweise 1) auf einen Wechsel der Bildungsbedingungen zwischen Klinopyroxeneinsprenglingen und Grundmasseklinopyroxenen und 2) auf eine Entwicklung der Klinopyroxene bei der Differentiation einer basaltischen Schmelze von olivinnephelinitischer zu nephelinbasanitischer Zusammensetzung zu gewinnen.

Vergleicht man den Chemismus der Einsprenglinge 87 (E) und 89 (E) mit den dazugehörigen Grundmasseklinopyroxenen 87(G) und 89(G) (Tab. 3, 3a, 3b, 3c), so sind die ersteren an  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  und  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  reicher, aber an  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  ( g.  $\text{FeO}$  ),  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$  ärmer. Dieser Unterschied ist noch etwas deutlicher ausgeprägt, wenn man bedenkt, daß die Einsprenglinge aus Rand- und Kernpartien bestehen, die aber nicht getrennt analysiert werden konnten. Im petrographischen Teil ( S. 8 ) wurde klargestellt, daß der Chemismus der Randzonen wahrscheinlich dem der Grundmasseklinopyroxene

entspricht. Nach Yagi & Onuma ( 1967 ) ist der Einbau von  $\text{TiO}_2$  in das Klinopyroxengitter druckabhängig, insofern als es bei niedrigem Druck stärker eingebaut wird. Bei den Olivinnepheliniten und Nephelinbasaniten wird das dadurch bestätigt, daß die Grundmasseklinopyroxene, die unter Oberflächenbedingungen gebildet wurden, mehr  $\text{TiO}_2$  enthalten als die "intratellurischen" Einsprenglinge. Für die der Grundmasse chemisch gleichen Randzonen der Einsprenglinge würde dies bedeuten, daß sie ebenfalls erst unter Oberflächenbedingungen kristallisiert sind.

Die Ca (wo) - Mg (en) -  $\Sigma\text{Fe}$  (fs) - Anteile aller Klinopyroxene schwanken im Bereich von  $\text{Ca}_{43.41} - 47.98$   $\text{Mg}_{33.49} - 38.79$   $\Sigma\text{Fe}_{16.68} - 19.01$ . Ihr Mittelwert liegt bei  $\text{Ca}_{45.46}$   $\text{Mg}_{36.59}$   $\Sigma\text{Fe}_{17.85}$ .

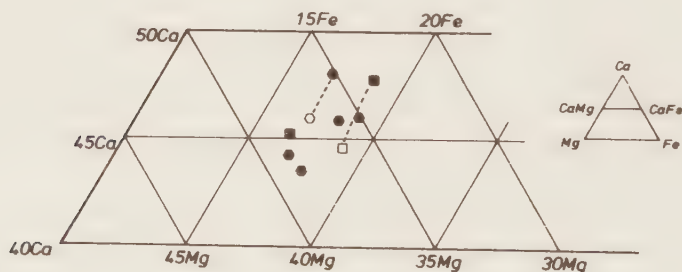


Abb. 21 Position und Entwicklung der Klinopyroxenphasen der Gesteine im Pyroxentrapez. O Klinopyroxeneinsprengling aus dem Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm ( 87 E ), □ Klinopyroxeneinsprengling aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Triebendorf ( 89 E ), ● Grundmasseklinopyroxene der Olivinnephelinite, ■ Grundmasseklinopyroxene der Nephelinbasanite.

Die Lage der Projektionspunkte der untersuchten Klinopyroxene im Pyroxen-trapez Abb. 21 fällt mit denen anderer Alkalibasaltprovinzen zusammen:

Hocheifel ( Huckenholz 1965, 66 ), Japan ( Aoki 1964 ), Hawaii ( Poldervaart & Hess 1951 ) u.a. Aus der Abb. 21 läßt sich erkennen, daß die Grundmasse-klinopyroxene des Olivinnephelinit 87 (G) und des Nephelinbasanit 89 (G) jeweils die höchsten Ca - Gehalte haben. Beide Klinopyroxengenerationen vom Nephelinbasanit ( 89 ) sind Fe - reicher. Die Zunahme der Hd - Komponenten von Olivinnephelinit zu Nephelinbasanit entspricht dem Differentiationsverlauf aller bekannten Klinopyroxenenentwicklungen von Alkalibasalten.

Zum Zwecke einer besser verständlichen Darstellung wurden aus allen Klinopyroxenphasen jeweils gegen ihr  $\Sigma \text{Fe}$  (nach Huckenholz 1965, 66 ) aufgetragen:

- 1) die klinopyroxenformenden Kationen ( Abb. 22 und Abb. 23 )
- 2) Ac+Jd-, Tsch. -, Di-, Hd-Komponente ( Abb. 24 ) und
- 3) die Spurenelementgehalte ( Abb. 25 ).

$\Sigma \text{Fe} = (\Sigma \text{Fe} / \text{Ca} + \text{Mg} + \Sigma \text{Fe})$  nimmt mit der Differentiation der Schmelze zu. Für die untersuchten Proben trifft das für die Entwicklung vom Olivinnephelinit zum Nephelinbasanit zu, mit Ausnahme der Probe 90(G), bei der aber ein Bestimmungsfehler nicht ausgeschlossen werden kann.

Die  $\text{Fe} / \text{Mg}$  - Verhältnisse für beide Klinopyroxengenerationen bei den Proben 87 und 89 zeigen, wie zu erwarten ist, ein Ansteigen bei den Grundmassephasen ( Gew.% von g. Fe / Gew.% Mg von 87 (E) = 0.781, 87(E) = 0.824, 89(G) = 0.917, 89(E) = 1.051 ).

Betrachtet man für diese Proben hingegen das  $\Sigma \text{Fe}$  ( 87(E) = 17.01, 87(G) = 16.86, 89(E) = 19.01, 89(G) = 18.89), so läßt sich hierbei

eine solche Entwicklung nicht feststellen. Die Abweichung könnte auf Änderung der physikochemischen Bedingungen nach der Eruption zurückzuführen sein, die sich auf die Kristallisation der Grundmasseklinopyroxene ausgewirkt hat.

In Abb. 22 und Abb. 23 sind die einzelnen Kationen gegen den  $\Sigma \text{Fe}$  - Parameter der Klinopyroxene dargestellt.

Die Z - Position besetzen Si und Al und die  $\Sigma \text{Z}$  bleibt immer gleich 2. Dies bedeutet, daß Si zunimmt, während  $\text{Al}^{(\text{Z})}$  abnimmt. Gleiches Verhalten zeigen auch Klinopyroxene der geschichteten Intrusionskomplexe bei der Fraktionierung eines Magmas ( Skaergaard, Brown & Vincent 1963 ; Stillwater, Hess 1949 ; Black Jack Sill, Wilkinson 1956 ; Atumi Sill, Kushiro 1960 ; u.a. ).

Auf die Y - Position fallen der Rest von Al ( $\text{Al}^{(\text{Y})}$ ), Ti und  $\text{Fe}^{+3}$ , wobei die  $\Sigma \text{Y}$  nicht konstant bleibt. In der Gesamtheit bleibt Ti und  $\text{Fe}^{+3}$  (Abb.22) unverändert, während  $\text{Al}^{(\text{Y})}$  mit  $\Sigma \text{Fe}$  zunimmt, sodaß  $\Sigma \text{Y}$  ebenfalls mit  $\Sigma \text{Fe}$  größer wird.

Die X - Position besetzen  $\text{Fe}^{+2}$ , Mn und Mg. Die  $\Sigma \text{X}$  bleibt wie die  $\Sigma \text{Y}$  - Position nicht konstant. Umgekehrt zu  $\Sigma \text{Y}$  verläuft die Abnahme der  $\Sigma \text{X}$  mit  $\Sigma \text{Fe}$  ( Abb.23 ). Dabei ist zu beobachten, daß  $\text{Fe}^{+2}$  zunimmt und Mg abnimmt. Allerdings wird die Abnahme von Mg durch die Zunahme von  $\text{Fe}^{+2}$  kompensiert. Mn ist sehr gering in den Klinopyroxenen und bleibt fast unverändert. Die deutliche Abnahme des Mg und vor allem die  $\text{Fe}^{+2}$  - Zunahme, spielen eine entscheidende Rolle bei der petrogenetischen Entwicklung der Klinopyroxene im Laufe der Differentiation der basaltischen Schmelze von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit.

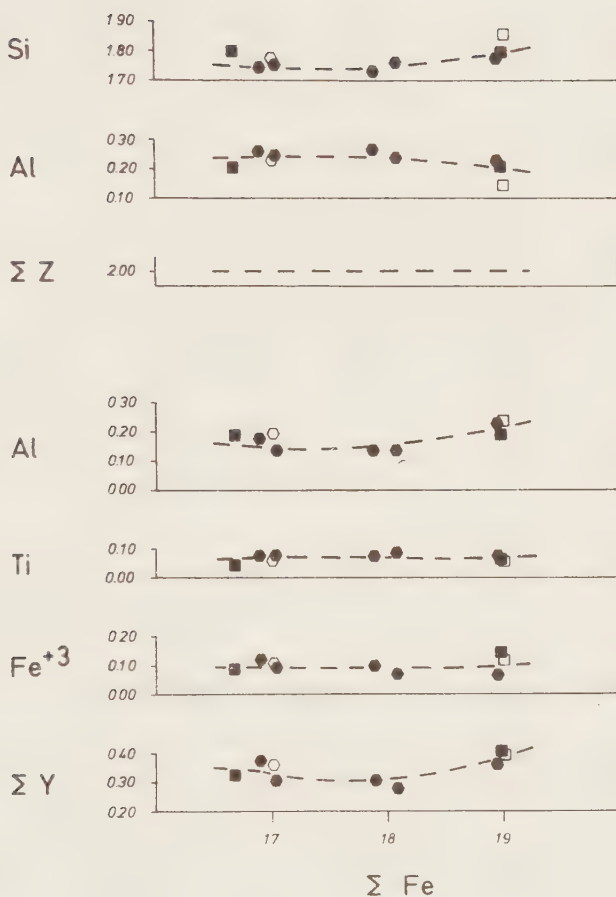


Abb. 22 Das Verhalten der klinopyroxenenformenden Kationen in Abhängigkeit ihrer  $\Sigma Fe$  ( $= \Sigma Fe / Ca + Mg + \Sigma Fe$ ) - Gehalte. ○ Klinopyroxeneinsprengling aus dem Olivinnephelinit vom Rauhen Kulm, (87 E), □ Klinopyroxeneinsprengling aus dem Nephelinbasanit vom Stbr. Triebendorf (89 E), ● Grundmasseklinopyroxene der Olivinnephelinite, ■ Grundmasseklinopyroxene der Nephelinbasanite. In der Reihenfolge von links nach rechts : 1) 90(G); 2) 87(G); 3) 87(E); 4) 20A(G); 5) 20C(G); 6) 88(G); 7) 20B(G); 8) 89(G); 9) 89(E) nach Tab. 3a, 3c.

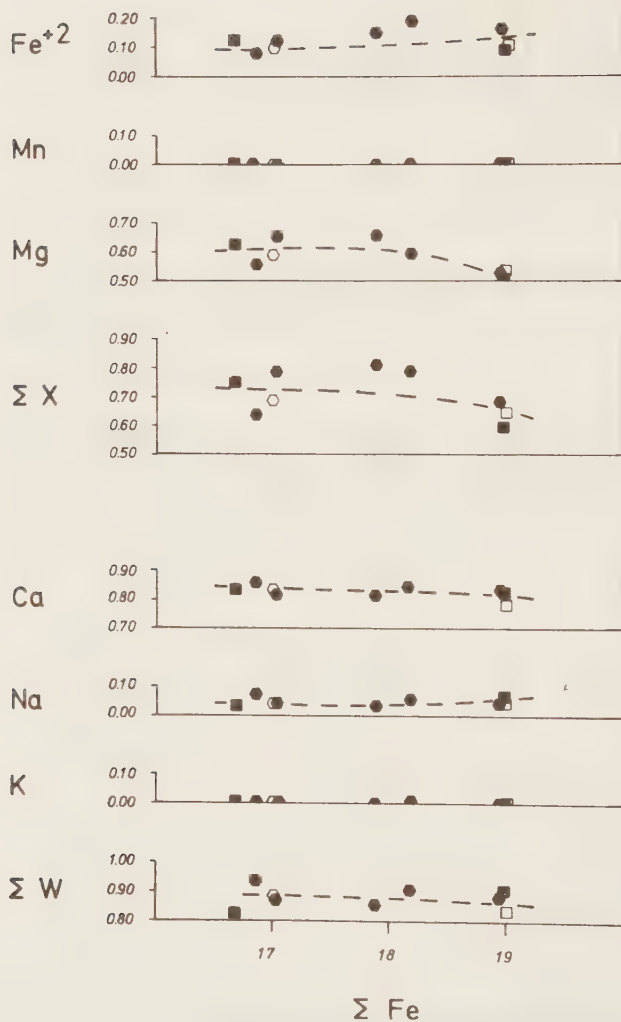


Abb. 23 Das Verhalten der klinopyroxenformenden Kationen in Abhängigkeit ihrer  $\Sigma Fe$  ( =  $\Sigma Fe / Ca + Mg + \Sigma Fe$  ) - Gehalte wie in Abb. 22.

Die W - Position besteht aus Ca, Na und K. Die  $\Sigma W$  nimmt mit  $\Sigma Fe$  leicht ab ( Abb. 23 ). Von diesen drei Kationen nimmt Ca deutlich ab, Na leicht zu und K, das eine untergeordnete Rolle spielt, bleibt fast unverändert. Das Abnehmen von Ca wird durch Na Ersatz weitgehend kompensiert.

In Abb. 24 ist die Abhängigkeit von  $\Sigma Fe$  der Komponenten Ac + Jd, Tsch., Di und Hd aller Klinopyroxenphasen dargestellt. Die Komponenten ( hypothetische Klinopyroxenmoleküle ) wurden in Anlehnung an Yoder & Tilley ( 1962 S.366 - 67 ) wie folgt gebildet :

Ac Akmit und Jd Jadeit  $(\underline{Na, K})Fe^{+3}Si_2O_6$

Tsch. Tschermak's - Molekül  $(Ca, Mg)(Mg, Fe^{+3}, Ti, Al)\underline{Al}SiO_6$

Di Diopsid  $CaMgSi_2O_6$  und

Hd Hedenbergit  $Ca\underline{Fe}^{+2}Si_2O_6$

Aus Abb. 24 läßt sich erkennen, daß trotz des geringen Intervalls von  $\Sigma Fe$  ( ca 2% ) die Ac + Jd - Komponenten mit  $\Sigma Fe$  zunehmen. Tsch. nimmt ab und Di sowie Hd zeigen eine sehr große Streuung. Die Zunahme der Ac + Jd mit  $\Sigma Fe$  entspricht der Na - Anreicherung in der Schmelze mit fortschreitender Kristallisation - Differentiation. Nach Clark et al. ( 1962 ) ist der Anteil der Tsch. - Komponente vom Druck abhängig. Er nimmt mit steigendem Druck zu. So haben bei den Proben 87 und 89 die Einsprenglinge mehr Tsch., als die dazugehörigen Klinopyroxene der Grundmasse.

Zum Schluß können auch die Spurenelemente einen wichtigen Beitrag zu der petrogenetischen Entwicklung der Klinopyroxene bei der Differentiation der Schmelze von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit leisten.

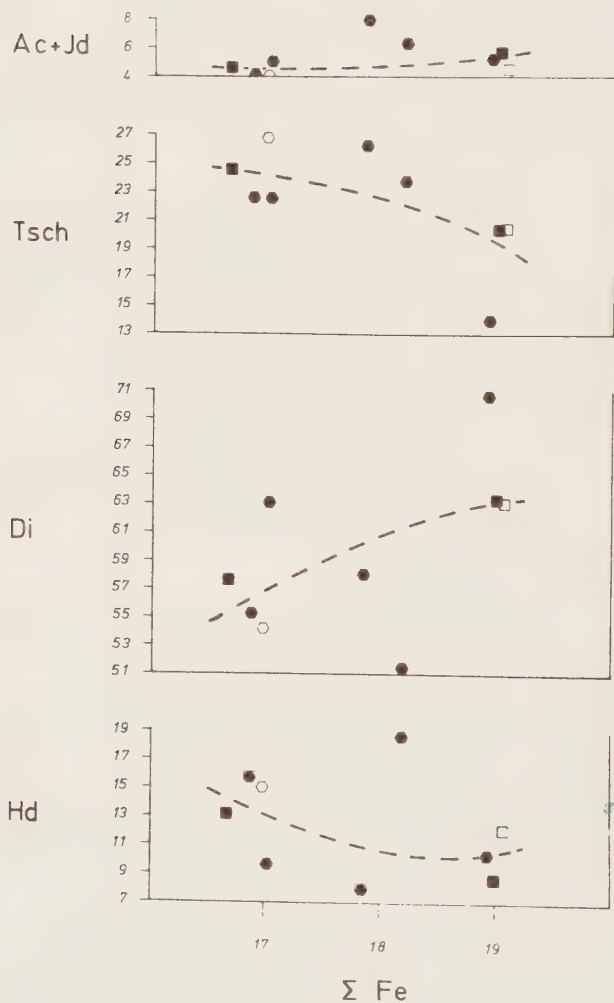
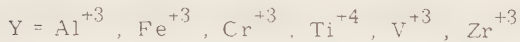
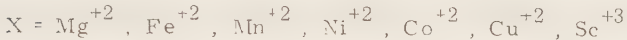
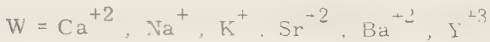


Abb. 24 Das Verhalten von Ac + Jd -, Tsch. -, Di - und Hd - Komponenten aller Klinopyroxenphasen in Abhängigkeit von ihren  $\Sigma \text{Fe}$  - Gehalten. Signaturen und Reihenfolge der Projektionspunkte wie in Abb. 22

Zur Erinnerung nochmals die allgemeine Formel der Pyroxene. Sie lautet :

$W_{(1-p)}(XY)_{(1+p)}Z_2O_6$ , wobei  $p = 0$  für Klinopyroxene und  $p = 1$  für Orthopyroxene gilt. Die Positionen W, X, Y und Z können folgendermaßen besetzt werden :



Die Spurenelemente Cr, Ni, Co, Cu, V, Zr, Sc, Sr, Ba aller Klinopyroxenphasen wurden gegen ihre  $\Sigma Fe$  - Gehalte in Abb. 25 dargestellt.

### Chrom

Chrom ist in den Einsprenglingen ( 87 E = 360 ppm, 89 E = 260 ppm ) mehr als in ihren Grundmassephasen ( 87 G = 257ppm, 89 G = 220ppm ) angereichert.

Der Cr - Gehalt nimmt mit der Differentiation der Schmelze ab ( Abb. 25 ).

Ähnlich verhält sich der Cr - Gehalt bei den Alkalibasaltklinopyroxenen der Hocheifel ( Huckenholz 1965, 66 ), in denen die Gehalte jedoch um etwa eine Zehnerpotenz höher liegen.

### Nickel

Nickel nimmt ebenfalls mit dem Kristallisationsablauf ab. In Abb. 25 ist auch diese Abnahme des Ni mit zunehmender  $\Sigma Fe$  zu erkennen. Wager & Mitchell ( 1951 ) fanden ähnliche Ni - Gehalte in den Klinopyroxenen der Skaergaard - Intrusion, während Sen et al. ( 1959 ) in den kalifornischen Batholithen einen niedrigeren Ni - Gehalt feststellten. Atkins ( 1969 ) beobachtete dagegen in den Klinopyroxenen der Bushveld - Intrusion einen etwas höheren Ni - Gehalt.

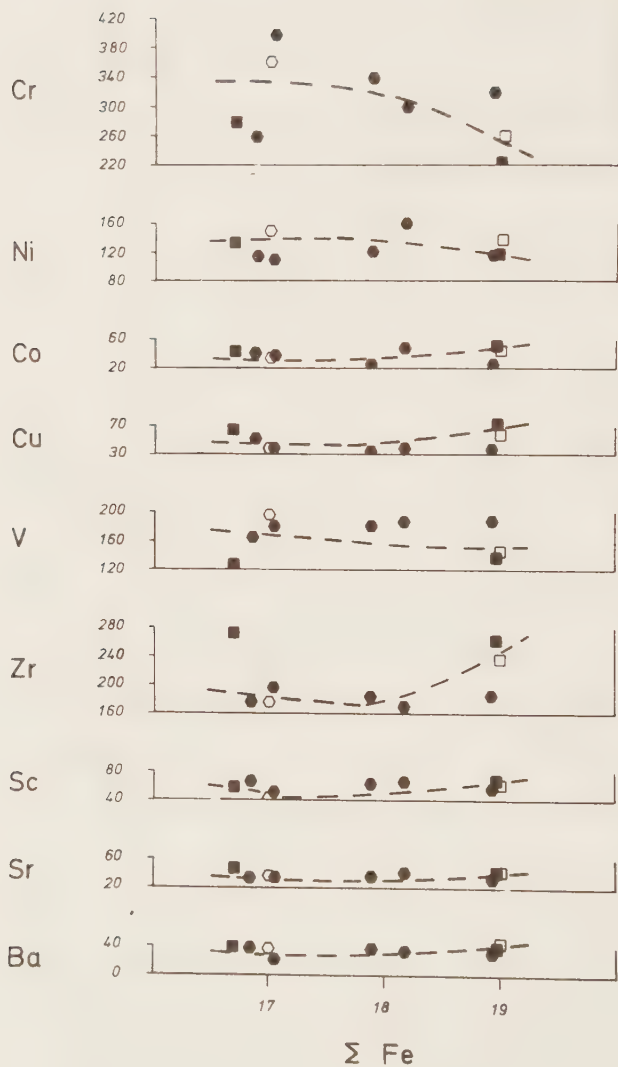


Abb. 25 Das Verhalten der Spurenelemente aller Klinopyroxenphasen in Abhängigkeit ihrer  $\Sigma Fe$  ( =  $\Sigma Fe / Ca + Mg + \Sigma Fe$  ) - Gehalte.

Signaturen und Reihenfolge wie in Abb. 22

### Kobalt

Die Co - Gehalte decken sich mit den von Sen et al. ( 1959 ) ermittelten. Über das geochemische Verhalten des Co wurde lange diskutiert. So ist nach McDougall & Lovering ( 1963 S.335 ) eine Co - Anreicherung sowohl in den Klinopyroxenen, wie auch in den koexistierenden Klino - und Orthopyroxenen an eine Zunahme des Fe / Mg-Verhältnisses gebunden. Carr & Turekian ( 1961 S.53 ) fanden dagegen, daß der Co - Gehalt in den Pyroxenen eine Funktion von Gesamt - Fe + Mg ist und nicht eine Funktion des Fe / Mg - Verhältnisses. In Abb.25 steigt Co mit zunehmender  $\Sigma$ Fe an.

### Kupfer

Kupfer nimmt ebenfalls wie Co zu ( Abb.25 ). McDougall & Lovering ( 1963 S.336 ) fanden, daß der Cu - Gehalt in den Pyroxenen so lange zunimmt, bis die Schmelze eine granophyrische Zusammensetzung erreicht hat. Im allgemeinen wird Cu in den nicht sulfidischen Mineralen mit der Fraktionierung zunehmen ( Wager & Mitchell 1951 ; Cornwall & Rose 1957 ; Tiller 1959 ; u.a. ).

### Vanadium

Vanadium schwankt zwischen 127 und 159 ppm in den Klinopyroxenen. Bei Wager & Mitchell ( 1951 ), Sen et al. ( 1959 ) variiert der Vanadiumgehalt von 100 bis 480 ppm. Wie Cr reichert sich auch das V in den früh ausgeschiedenen Mineralen an und nimmt mit fortschreitender Kristallisation allmählich ab. In Abb. 25 nimmt V mit steigender  $\Sigma$ Fe ab.

### Zirkonium

Der Zirkonium - Gehalt liegt zwischen 170 und 232 ppm. Die Klinopyroxene der Alkalibasalte von Black Jack Sill ( Wilkinson 1956 ) haben einen Zr - Ge-

halt von 200 bis 225 ppm. Zirkonium wird hauptsächlich in die granoplyvrischen oder pegmatitischen Differentiate einer Schmelze angereichert ( Cornwall & Rose 1957 ). Ähnlich verhält sich das Zirkonium in diesen Pyroxenphasen mit zunehmendem  $\Sigma \text{Fe}$  - Gehalt ( Abb. 25 ).

#### Scandium

Scandium - Gehalte liegen zwischen 44 und 70 ppm. In Abb. 25 nimmt Sc leicht zu und verhält sich ähnlich wie bei den Bushveld - Pyroxenen ( Atkins 1969 ). Sc ersetzt  $\text{Fe}^{+2}$  und vermutlich auch  $\text{Mg}^{+2}$ .

#### Strontium

Strontium -Gehalte schwanken zwischen 30 und 44 ppm. Ähnliche Werte fanden Wager & Mitchell ( 1951 ) und Atkins ( 1969 ). Den niedrigen Sr - Gehalt der Klinopyroxene, obwohl Sr das Ca der Ca - reichen Minerale ersetzt, führt Noll ( 1934 ) auf die geringe Dehnungsfähigkeit des Pyroxengitters zurück, so daß das größere Strontiumion nicht aufgenommen werden kann. Sr zeigt eine sehr schwache Zunahme mit steigender  $\Sigma \text{Fe}$  ( Abb. 25 ).

#### Barium

Barium - Gehalte wurden in sehr kleinen Mengen ( 20 bis 41 ppm ) gefunden. Wager & Mitchell ( 1951 ) interpretieren die sehr kleinen Ba - Gehalte in den Klinopyroxenen als eine Verunreinigung.

Alle diese detaillierten Betrachtungen der Klinopyroxene haben gezeigt, daß zwei Klinopyroxenenentwicklungen in den Olivinnepheliniten und Nephelinbasanit existieren.

Die erste Entwicklung ( Einsprengling - Grundmasse der Proben 87 und 89 ) zeigt, daß während der Fraktionierung die Gehalte an Ca (wo) in den Pyro-

xenen zunehmen. Die Einsprenglinge ( 87 E und 89 E ) sind an  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$  sowie auch an Tsch. reicher. Die dazugehörigen Klinopyroxene der Grundmasse ( 87 G und 89 G ) sind dagegen an  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  (g. $\text{FeO}$ )  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$  reicher. Dieser Unterschied im Chemismus kann durch unterschiedliche P - T - Bildungsbedingungen erklärt werden. Dabei kann die vollkommene Kristallisation der Einsprenglinge in einer relativ seichteren Magmakammer stattgefunden haben, während die Grundmasseklinopyroxene nach der Eruption in der Nähe oder an der Erdoberfläche kristallisierten. Der veränderte Sauerstoffpartialdruck findet seinen Niederschlag in den natürlichen  $\text{Fe}^{+3} / \text{Fe}^{+2}$  - Verhältnissen der Grundmasseklinopyroxene gegenüber den korrespondierenden Einsprenglingen.

Die zweite Entwicklung zeigt, daß die Klinopyroxene in ihrer Gesamtheit Fe - reicher werden, wobei eine Anordnung der Klinopyroxene aus den Gesteinen vom Olivinnephelinit zum Nephelinbasanit mit steigendem  $\Sigma \text{Fe}$  - Gehalt möglich ist, d.h. Gesteine von ähnlichem Chemismus enthalten unterschiedlich zusammengesetzte Klinopyroxene. Dies bestätigt auch die Variation im  $\Sigma \text{Fe}$  - Gehalt ( nur ca 2 Atom. % ). Ein weiterer Punkt ist die Tatsache, daß nur zwei Gesteine ( 87 und 89 ) neben den Klinopyroxenen der Grundmasse auch Einsprenglingsklinopyroxene enthalten. In fast allen Fällen wird also die Hauptmenge der Klinopyroxene nach der Eruption eisenreicher und spiegelt einen lokalen Entwicklungstrend der basaltischen Schmelze wider, der jedoch von Vorkommen zu Vorkommen nicht sehr stark variiert. Von den klinopyroxenformenden Kationen  $\text{Si}$ ,  $\text{Al}^{(y)}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  und Na von den Spurenelementen  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Sc}$ ,  $\text{Sr}$  sowie auch die  $\text{Ac} + \text{Jd}$  - Komponente nehmen mit steigendem  $\Sigma \text{Fe}$  - Gehalt zu. Gleichfalls mit zunehmendem

$\Sigma \text{Fe}$  - Gehalt nehmen die Kationen  $\text{Al}^{(z)}$ , Mg, Ca und die Spurenelemente Cr und Ni ab. Man erkennt hier genau wie bei den Alkalibasalten der Hoheifel ( Huckenholz 1965, 66 ), daß eine kontinuierliche Substitution von  $\text{Ca Mg} \longrightarrow \text{Ca (Fe}^{+2}, \text{Mn)}$  und  $\text{Ca Mg} \longrightarrow \text{Na Fe}^{+3}$  in den Klinopyroxenen von Olivinnephelinit in Richtung Nephelinbasanit während der Differentiation der basaltischen Schmelze stattfindet.

Die kristallchemischen Veränderungen der Klinopyroxene, die die Genese ihrer Gesteine widerspiegeln, brachten folgendes Ergebnis : zwischen Olivinnephelinit und Nephelinbasanit existiert ein enger Zusammenhang, wobei der Nephelinbasanit durch eine Differentiation in etwa gleicher Tiefe aus Olivinnephelinit entstanden ist.

### c. Nephelin

Nephelin wurde aus den Olivinnepheliniten ( 20A, 20B, 20C und 87 ) isoliert und analysiert. Die Nephelinanalysen sind in den Tab. 4 und 4a enthalten.

Die allgemeine Strukturformel für Nephelin ( Hahn & Buerger 1955 ) lautet :

$\text{K}_y \text{Na}_z \text{Ca}_w \text{Si}_{8+x} \text{Al}_{8-x} \text{O}_{32}$ , wobei  $y + z + 2w = 8 - x$ ;  $y + z + w = 8$ ;  $y = 8$  und  $z = 2$  sein kann.

Die Summe Alkali - Erdalkali (  $2R = \text{Na} + \text{K} + 2\text{Ca}$  ) variiert von 7.4346 bis 7.9488. Bannister & Hay ( 1931 ) fanden bei ihren Nephelinanalysen Werte zwischen 7 und 8 . Nephelin (  $\text{NaAlSiO}_4$  ) und Kalsilit (  $\text{KAlSiO}_4$  ) bilden eine Mischungsreihe, die temperaturabhängig ist. Dieses System haben Tuttle & Smith ( 1958 ) experimentell untersucht und fanden oberhalb etwa  $1000^\circ\text{C}$  eine vollständige Mischbarkeit bis zu 70 Gew. % Kalsilit, unterhalb  $1000^\circ\text{C}$  dagegen eine Mischungslücke. Um die Erstarrungstemperatur der Nepheline

festzustellen, wurden die Kalsilitgehalte aus den chemischen Analysen ( 100 K / K+Na+Ca ) und röntgenographisch ( 100 K / K+Na ) errechnet. Entsprechend Tuttle & Smith ( 1958 S. 573 Abb. 2 ) kann für die Nepheline eine Bildungstemperatur von  $980 \pm 25^{\circ}\text{C}$  ermittelt werden.

Die Gehalte an Spurenelementen in den Nephelinen sind sehr gering. Auffällig sind nur die Werte von Sr und Ba. Der Strontiumgehalt liegt bei 400 ppm und ersetzt das Ca. Strontiumbestimmungen von Nephelin aus Nephelinsyenit ( Heier 1966 ) ergaben einen Durchschnitt von 250 ppm. Das Barium wird wegen seines großen Ionenradius nicht gerne im Nephelengitter aufgenommen und sitzt in den Zwischenräumen des Nephelengitters ( Heier 1966 ).

#### d. Plagioklas

Im petrographischen Teil dieser Arbeit wurde erwähnt, daß die Nephelin-basanite ( Triebendorf und Rehberg ) in der Grundmasse einen basischen und einen sauren Plagioklas enthalten. Bei der Isolierung der Plagioklase aus den Gesteinen war es nicht möglich, die zwei Plagioklastypen zu trennen.

Die chemischen Analysen und die Anorthitgehalte sind bereits in Tab. 5 wiedergegeben. Hier wurde ein Durchschnittswert von 43 bis 47 Mol. % An ermittelt. Der Plagioklaschemismus zeigt eine große Ähnlichkeit ( entsprechend dem An-Gehalt ) mit den Analysen von Deer, Howie, Zussmann ( 1963 ). Da uns hier nur zwei Analysen vorliegen, ist es nicht möglich, wie bei Wager & Mitchell ( 1951 ) am Beispiel von Skaergaard und Iida ( 1961 Teil II ) für die japanischen Laven eine ähnliche Entwicklung der Spurenelemente mit Änderung der An-Gehalte zu zeigen. Die Gehalte an Spurenelementen stimmen in etwa mit denen der obengenannten Autoren überein.

### 3. Das Verhalten der Elemente in den Ultramafiteinschlüssen und ihren Mineralen

Die lherzolitischen Teilbereiche, die in den Olivinnepheliniten und Nephelinasaniten auftreten, sind häufige Einschlüsse in den Alkalibasalten der Erde. Sie weisen einen  $\pm$  konstanten Chemismus und Mineralbestand auf. ( z.B. Ross et al. 1954; Hamad 1963 ; White 1966; Kuno & Aoki 1970; u.a. ). Der Chemismus der untersuchten Ultramafiteinschlüsse ist ( zusammen mit den Gesteinsanalysen der Wirtsbasalte ) in Tab. 7 und 7a angegeben. Aus den chemischen Analysen ist zu ersehen, daß die Ultramafiteinschlüsse weniger  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , ges. $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  und mehr  $\text{MgO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  und  $\text{NiO}$  enthalten als die Wirtsbasalte, während der  $\text{MnO}$ -Gehalt gleich bleibt. Über den Chemismus der gesteinsbildenden Minerale in den Ultramafiteinschlüssen wird im folgenden Abschnitt berichtet.

#### Olivin

Olivin ist Mg-reicher als der Olivineinsprengling der Wirtsbasalte. Der chemisch bestimmte Fo-Gehalt ( Tab. 8 ) beträgt 91.03 und 89.52 %. Bei der röntgenographischen Bestimmung ergaben sich 91.10 % für den Olivin der Teichelberg-Einschlüsse und 89.50 % für den Olivin der Zinster Berg-Einschlüsse. Weiterhin sind die  $\text{TiO}_2$ -,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -,  $\text{CaO}$ -,  $\text{Na}_2\text{O}$ -,  $\text{K}_2\text{O}$ - und  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalte dieser Olivine niedriger, die  $\text{MgO}$ - und  $\text{NiO}$ -Gehalte höher als die der Olivineinsprenglinge der Wirtsbasalte ( vergl. Tab.2 ). Der  $\text{CaO}$ -Gehalt der Olivine ist identisch mit dem anderer Lherzolit-Vorkommen der Erde. Strunz u.a. ( 1966 ) führen Olivinanalysen der Ultramafiteinschlüsse vom Teichelberg mit 2.20 Gew.%  $\text{CaO}$  an. Bei Schütz ( 1967 ) sollen Olivinanalysen aus den Ultramafiteinschlüssen des Zinster Bergs 0.32 bis 3.75 Gew.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  enthalten. Diese Gehalte von  $\text{CaO}$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$

sind ungewöhnlich hoch. Nach T. Frisch ( 1970 ) gehen sie auf einen Analysefehler zurück. Beim Teichelbergvorkommen haben die Olivine der Ultramafiteinschlüsse einen niedrigeren  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt ( 216 ppm ) als die Olivineinsprenglinge des Wirtsbasalts am Teichelberg ( 260 ppm, 268 ppm, 285 ppm ). Beim Zinster Berg-Vorkommen haben die Olivine der Ultramafiteinschlüsse einen  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt von 228 ppm.

Nickel ersetzt Mg und  $\text{Fe}^{+2}$  im Olivin, kann aber auch im Pentlandit gebunden sein. Bekannt ist, daß Olivine aus dem Skaergaard-Gabbro 10 bis 2000 ppm Ni ( Wager & Mitchell 1951 ) enthalten, Olivine aus den Keweenaw-Basalten 640 bis 1600 ppm Ni ( Cornwall & Rose 1957 ) und Olivine aus japanischen Basalten und Andesiten 375 bis 1700 ppm Ni aufweisen. Die hohen Ni-Gehalte dieser Olivine bei 2000 ppm werden auf das Vorkommen von Pentlanditeinschlüssen zurückgeführt, wobei Ni mit der Differentiation-Kristallisation der Schmelze, durch die geringere Ausscheidung von Pentlandit, abnehmen wird. Nach Ramdohr ( 1940 ) ist der Pentlandit in Gabbros, Noriten, Diabasen und Duniten sehr verbreitet. Im Basalt ist er dagegen nur in Form von Sulfidkügelchen neben Magnetkies und Kupferkies öfters anzutreffen. Wager & Mitchell ( 1951 ) nehmen an, daß ein Schwefelgehalt von 0.2 % in der Skaergaard-Gabbro-Schmelze zur Entmischung von Sulfidkügelchen nötig ist. Im Falle eines eingetretenen Gleichgewichts zwischen Schmelze und Olivin in einer basaltisch-gabbroiden Schmelze und ohne größere Mengen von Pentlanditausscheidungen können die erstausgeschiedenen Olivine höchstens 1400 ppm Ni enthalten ( Wedepohl 1963 ). Bei nicht erreichtem Gleichgewicht können die Olivine, gemäß dem  $\text{Ni}_2\text{SiO}_4$  -  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  - System ( Ringwood 1956 ), im Bereich von 50 bis 100  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  etwa 600 ppm

Ni enthalten, später ausgeschiedene aber müssen eine Zunahme an Ni zeigen.

Die Ultramafiteinschlüsse vom Stbr. Teichelberg und Stbr. Zinster Berg enthalten 2900 und 2690 ppm Ni, ihre Olivine 3976 und 3600 ppm Ni. Der Schwefelgehalt der Ultramafiteinschlüsse beider Vorkommen liegt bei 80 ppm und der ihrer Olivine erreicht gerade noch die Nachweisgrenze. Die von Wedepohl ( 1963 ) untersuchten Ultramafiteinschlüsse enthalten 2000 bis 5500 ppm Ni und ihre Schwefelgehalte liegen etwa bei 300 ppm.

Nach dem bisher Gesagten kann festgestellt werden, daß die Ultramafiteinschlüsse mit mehr als 2000 ppm Ni nicht als Frühausscheidungen basaltischer Schmelzen in Betracht kommen, sondern als Reste eines Peridotit-Materials einzustufen sind.

### Enstatit

Im Enstatit beträgt das  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3.68 und 3.86 Gew.% ( Tab. 9 ) und der MgO-Gehalt, ausgedrückt durch das atomare Verhältnis  $\text{Mg} = 100 \text{ Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3} + \text{Mn}$ , 89.99 und 89.68. Ein Vergleich der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte in Orthopyroxenen aus verschiedenen Gesteinen sowie die experimentellen Ergebnisse im  $\text{MgSiO}_3$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - System führen zu einer genetischen Deutung der Ultramafiteinschlüsse. Die Enstatite aus den von Ross et al. ( 1954 ) untersuchten Ultramafiteinschlüssen weisen einen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt von 2.17 bis 5.32 Gew.% auf und einen Mg-Wert von 87.5 bis 91.5. Hamad ( 1963 ) fand in den Enstatiten anderer Ultramafiteinschlüsse einen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt von 3.07 bis 3.24 Gew.% mit einem Mg von 89.28 bis 90.21. Im Intrusionsperidotit von Dawros ( Rothstein 1958 ) schwankt das  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zwischen 0.7 und 2.7 Gew.%

und das Mg zwischen 87.5 und 95.0. In Orthopyroxenen aus vulkanischen Gesteinen ( Kuno 1954 ) erreicht das  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3.12 Gew.% und der Mg - Wert schwankt zwischen 50 und 85.

Boyd & England ( 1960 S.49 ) haben experimentell die Löslichkeit des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in reinem Enstatit bei hohen Temperaturen und Drucken gemessen. Sie fanden im System  $\text{MgSiO}_3$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bei einer Temperatur von  $1400^\circ\text{C}$  und 18.2 kb ( entsprechend einer Tiefe von ca 60 km ) eine Mischbarkeit bis zu 14 Gew.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Diese Beispiele sprechen für eine Beschränkung des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in normalmagmatisch entstandenen Orthopyroxenen, in denen der  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - Gehalt maximal 2 - 3 Gew.% erreicht ( Green 1964 ). Deshalb können die Ultramafiteinschlüsse nicht als Akkumulate aus bekannten basaltischen Magmen im Bereich der oberen Erdkruste entstanden sein.

Der CaO - Gehalt des Enstatits beträgt 1.51 und 1.24 Gew.% und steht im Einklang mit den von Ross et al. ( 1954 ) gefundenen Gehalten (0.60 bis 1.74 Gew.%). Zwei Enstatitanalysen von Hamad ( 1963 ) enthalten niedrigere CaO - Werte (0.39 und 0.78 Gew.%). Die CaO - Gehalte der Enstatitanalysen von White ( 1966 ) schwanken zwischen 0.39 und 0.90 Gew.%. Eine einzige Analyse erreicht 1.8 Gew.% CaO.

Im allgemeinen ist die Löslichkeit des CaO in  $\text{MgSiO}_3$  temperaturabhängig ( Davis & Boyd 1966, Boyd & Schairer 1964 ).

Die übrigen Oxide verhalten sich wie in den Enstatiten anderer Lherzoliteinschlüsse in Alkalibasalten.

### Cr - Diopsid

Im Diopsid ist der höhere Cr - Gehalt 5910 und 5930 ppm auffallend. Ross et al. ( 1954 ), die ähnlich hohe Gehalte fanden, verglichen die Cr-Gehalte früh ausgeschiedener Klinopyroxene aus basaltischen Magmen ( < 2000 ppm ) und erklärten die Entstehung der Ultramafiteinschlüsse nicht durch Akkumulation aus einem basaltischen Magma.

Auch der  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - Gehalt des Diopsids zeigt eine ähnliche Variation wie im koexistierenden Enstatit. Die  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - Gehalte der untersuchten Cr-Diopside liegen bei 4.68 und 4.72 Gew.%. Bei Ross et al. ( 1954 ) variieren sie zwischen 3.56 und 6.58 Gew.%, bei White ( 1966 ) zwischen 2.2 und 7.3 Gew.%. Die Klinopyroxene der Stillwater-, Skaergaard-, Bushveld- und anderer Intrusionskomplexe enthalten einen niedrigeren  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - Gehalt als die Diopside der Ultramafiteinschlüsse. Die Anreicherung von tetraedrisch koordiniertem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in Klinopyroxenen wird unterschiedlich interpretiert. So ist nach Kushiro ( 1960 ), der die Klinopyroxene von Tholeiiten und Alkalibasalten untersuchte, der Ersatz des Si durch Al vom fallenden  $\text{SiO}_2$  - Gehalt des Magmas abhängig. Nach Hess ( 1960 ) ist dagegen die Zunahme des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  im Klinopyroxen ein Indikator für hohe Kristallisationsdrucke.

Die anderen Oxidgehalte des Cr - Diopsids zeigen keine große Abweichung von den Klinopyroxenen anderer Ultramafiteinschlüsse, Peridotitintrusionen und der Intrusionskomplexe von Stillwater, Skaergaard und vom Bushveld.

### Cr - Spinell

Cr - Spinelle wurden bereits von Ross et al. ( 1954 ) und Hamad ( 1963 )

analysiert. Sie stimmen in etwa mit den auf Tab. 11 aufgeführten Cr-Spinellen vom Teichelberg und vom Zinster Berg überein.

Die Gehalte der Spinellentmoleküle Spinell ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), Chromit ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) und Magnetit ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) ähneln denen der hochtemperierten Peridotitintrusion von Lizard (Green 1964). Anstelle des Picochromitmoleküls ( $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ ) im Spinell des Lizardperidotits tritt hier das Hercynitmolekül ( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ ) auf.

Im folgenden wird die Verteilung der Elemente Mg,  $\text{Fe}^{+2}$ , Al und Ca auf die koexistierenden Minerale Olivin, Enstatit und Cr - Diopsid anhand von Umrechnungen der chemischen Analysen diskutiert.

#### Mg - $\text{Fe}^{+2}$ - Verteilung in Ortho - und Klinopyroxenen

Im Gleichgewichtszustand sind diese Elemente gleichmäßig auf die koexistierenden Phasen eines Systems verteilt (thermodynamische Behandlungen bei Ramberg & Devore 1951; Mueller 1961 und Kretz 1961). Der Verteilungskoeffizient  $K_D$  für die Aufteilung von Mg und  $\text{Fe}^{+2}$  in den koexistierenden Ortho - und Klinopyroxenen wird folgendermaßen ausgedrückt:

$$K_D = \frac{(\text{Mg} / \text{Fe}^{+2})_{\text{Opx}}}{(\text{Mg} / \text{Fe}^{+2})_{\text{Kpx}}}$$

Der Verteilungskoeffizient  $K_D$  ist eine numerische Funktion, die von Temperatur und Druck abhängig ist und in verschiedenen Gesteinen unterschiedliche Werte hat. So haben nach Bartholomé (1961) die Pyroxene der Granulite und anderer Metamorphite einen  $K_D$  - Wert von 0.73. Die Pyroxene

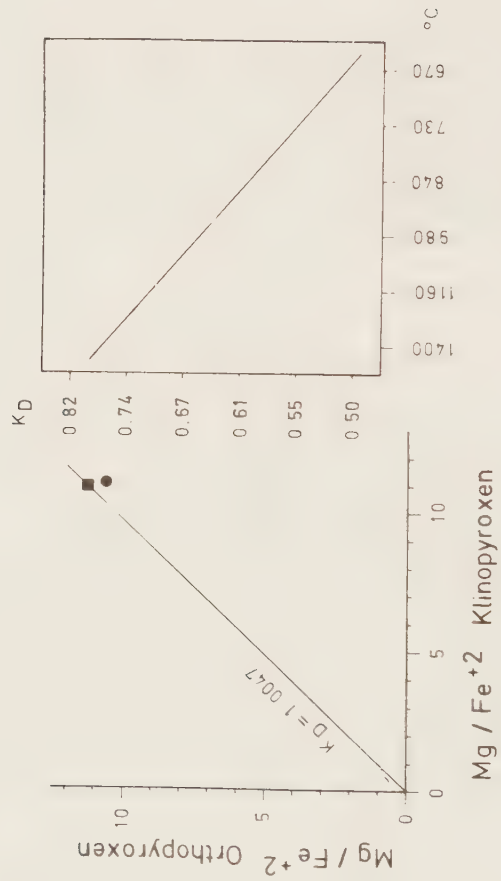


Abb. 26 Die Verteilung von Mg und  $\text{Fe}^{+2}$  zwischen Ortho - und Klinopyroxen ( unten ) aus Ultramafiteinschlüssen vom ■ Teichelberg und ● Zinster Berg. Die Gleichgewichtstemperatur ( oben ) wurde aus dem  $K_D$  - Wert der obengenannten Pyroxenphasen ( ca  $1450^{\circ}\text{C}$  ) nach Kretz ( 1963 ) ermittelt.

von magmatischen Gesteinen, speziell die von differenzierten basischen Magmen ( Skaergaard, Stillwater und Bushveld ), haben ein  $K_D$  von 0.54. Peridotiteinschlüsse haben einen  $K_D$  - Wert von 0.8 bis 1.0. White ( 1966 ) fand in den lherzolithischen Ultramafiteinschlüssen von Hawaii - Basalten ein  $K_D$  von 1.0. Der  $K_D$  - Wert erreicht in den Ultramafiteinschlüssen des Teichelbergs 1.0416 und in den Ultramafiteinschlüssen des Zinster Bergs 0.9679. Sie stimmen mit dem von White ( 1966 ) gefundenen  $K_D$  - Wert überein. Der  $K_D$  - Wert von 1 zeigt eine sehr hohe Gleichgewichtstemperatur ( Ramberg & Devore 1951 ).

Die Beziehung zwischen  $K_D$  und Temperatur wurde bei Kretz ( 1963 S.782, Abb.3 ) dargestellt und ist in Abb.26 mit den  $Mg - Fe^{+2}$  und  $K_D$  - Werten der untersuchten Ortho - und Klinopyroxene nachgezeichnet. Aus Abb. 26 läßt sich eine Ortho - Klinopyroxen - Gleichgewichtstemperatur von ca 1450°C abschätzen.

#### $Fe^{+2}$ - Mg - Verteilung auf Olivin und Orthopyroxen

Ähnlich wie für die Ortho - und Klinopyroxene wurde auch für die koexistierenden Mineralphasen Olivin und Orthopyroxen ( vorausgesetzt sie befinden sich im Gleichgewicht ) ein Verteilungskoeffizient  $K_T$  für die Aufteilung von  $Fe^{+2}$  und Mg für diese beiden Phasen gebildet ( Bartholomé 1962 ) :

$$K_T = \frac{( Fe^{+2} / Mg )_{Ol}}{( Fe^{+2} / Mg )_{Opx}^2}$$

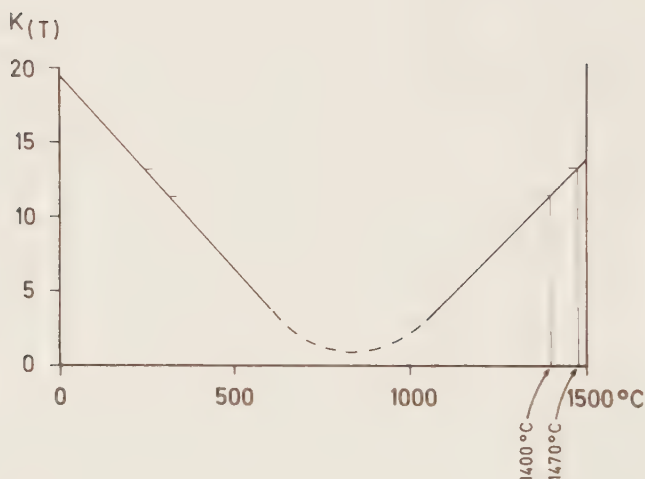


Abb. 27 Die Veränderung von  $K_T$  vom Olivin und Orthopyroxen mit der Temperatur. Gleichgewichtsbedingungen werden vorausgesetzt. ( nach Bartholomé 1962 S.15 )

$K_T = 11.33$   $T = 1400^\circ\text{C}$  für Ultramafiteinschlüsse vom Teichelberg

$K_T = 13.29$   $T = 1470^\circ\text{C}$  für Ultramafiteinschlüsse vom Zinster Berg

In Abb. 27 sind die  $\text{Fe}^{+2} / \text{Mg}$  - Werte von Olivin und Orthopyroxen eingetragen. Diese Verhältnisse erreichen 0.1 und fallen mit denen von Ross et al. ( 1954 ), White ( 1966 ) u.a. zusammen. Der  $K_T$  - Wert erreicht 11.33 in den Teichelberg - Ultramafiteinschlüssen und 13.29 in den Zinster Berg - Ultramafiteinschlüssen. Die  $K_T$  - Werte von Ross et al. ( 1954 ) liegen bei 10. Nach Bartholomé ( 1962 ) kann auch eine Olivin - Orthopyroxen - Gleichgewichtstemperatur ( wenn die zwei Phasen im Gleichgewicht sind ) von  $1400^\circ\text{C}$  bis  $1470^\circ\text{C}$  ermittelt werden.

# Ca / Ca + Mg - Verhältnis der Klinopyroxene

Neben dem  $K_D$  - und  $K_T$  - Wert kann auch das Ca / Ca + Mg - Verhältnis der Klinopyroxene diskutiert werden.

Das System  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  -  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  ist von Boyd & Schairer ( 1964 ) bei 1 atm und von Davis & Boyd ( 1966 ) bei 30 kb untersucht worden.

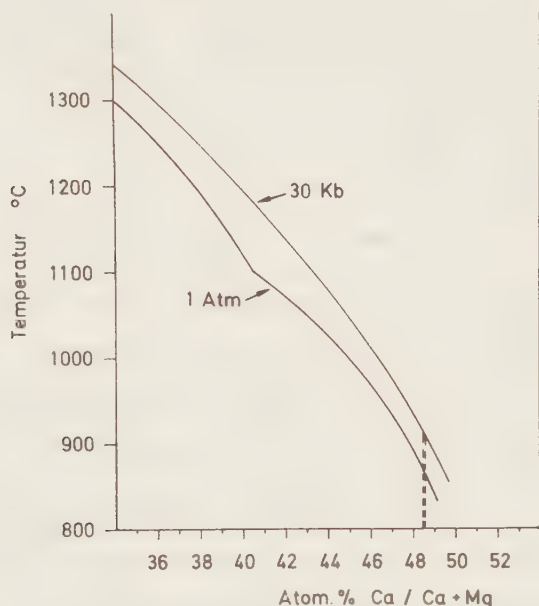


Abb. 28 Die Diopsid - Enstatit - Mischung im System  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  -  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  bei 1 atm von Boyd & Schairer ( 1964 ) und bei 30 kb von Davis & Boyd (1966). Dargestellt ist das atomare Verhältnis von Ca / Ca + Mg ( Atom. % ) des Diopsids in Abhängigkeit von der Temperatur. Der Diopsid der Ultramafit-einschlüsse vom Teichelberg hat ein Ca / Ca + Mg - Verhältnis von 48.46 bei einer Temperatur von etwa 900°C. Der Diopsid der Einschlüsse vom Zinster Berg hat ein Ca / Ca + Mg - Verhältnis von 48.58 bei einer Temperatur von 920°C.

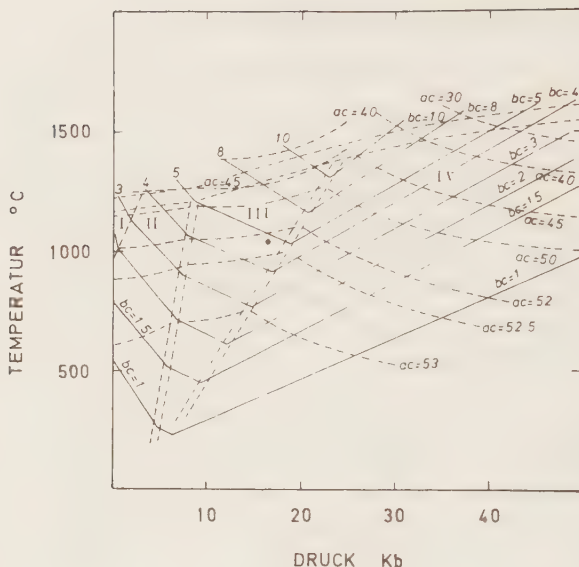


Abb. 29 Provisorische P - T - Projektion der Mineralfazies und ihrer Grenzgleichgewichte einschließlich des Schmelzintervalls für natürliche vier - Phasen - Peridotite ( I Protohy. - Pl -, II Opx - Pl -, III Spinell -, IV Granat - Lherzolite Fazies, nach O'Hara 1967 ). ● Die Ermittlung der P - T - Bedingungen der untersuchten Ultramafiteinschlüsse aus den ac - und bc - Parametern ihrer Klinopyroxene beträgt 1070°C und 16 kb.

$$ac = \frac{\text{Gew. \% CaSiO}_3 \cdot 100}{\text{Gew. \% CaSiO}_3 + \text{MgSiO}_3} \quad \text{in Klinopyroxen und}$$

$$bc = \frac{\text{Gew. \% Al}_2\text{O}_3 \cdot 100}{\text{Gew. \% Al}_2\text{O}_3 + \text{CaSiO}_3 + \text{MgSiO}_3} \quad \text{in Klinopyroxen}$$

Davis & Boyd ( 1966 ) fanden, daß die Löslichkeit des  $\text{MgSiO}_3$  im Klinopyroxen sehr stark mit der Temperatur variiert und sehr wenig vom Druck abhängig ist. Wenn die anderen Elemente Fe, Al nicht berücksichtigt werden, kann das System  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  -  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  als thermischer Indikator für koexistierenden Klino - und Orthopyroxen dienen. In Abb. 28 sind die  $\text{Ca} / \text{Ca} + \text{Mg}$  - Verhältnisse der untersuchten Klinopyroxene eingetragen. Es läßt sich eine Temperatur von etwa  $920^\circ\text{C}$  ablesen. Diese sehr niedrige Temperatur kann 1) durch den hohen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - Gehalt der Klinopyroxene und 2) durch die Entmischung von Orthopyroxen während der Abkühlung erklärt werden.

Aus den ac- und bc- Parametern, die nach O'Hara ( 1967 ) aus den Klinopyroxenanalysen berechnet wurden, ergibt sich eine Temperatur von  $1070^\circ\text{C}$  und ein Druck von etwa 16 kb ( Abb. 29 ).

#### Al - Si - Verteilung in Klino - und Orthopyroxenen

Green ( 1964 ) hat festgestellt, daß eine lineare Beziehung von  $^{\text{Z}}\text{Al} \cdot 100 / \text{Si}$  in Ortho - und Klinopyroxenen existiert. Das Verhältnis  $^{\text{Z}}\text{Al} \cdot 100 / \text{Si}$  in Klinopyroxen zu  $^{\text{Z}}\text{Al} \cdot 100 / \text{Si}$  in Orthopyroxen bildet den Al - Si - Verteilungskoeffizienten  $K_{\text{Al}}$ .  $K_{\text{Al}}$  der nach Green ( 1964 ) druck - und temperaturabhängig ist, spielt der Druck die dominierende Rolle und Temperatur die untergeordnete. Im Gegensatz zu  $K_{\text{D}}$  ist die theoretische Behandlung von  $K_{\text{Al}}$  noch nicht durchgeführt worden.

Green ( 1964 ) fand in geschichteten Intrusionsperidotiten von Lizard ein  $K_{\text{Al}}$  von 1.2 bis 1.3 für die primären Pyroxenphasen, für die rekristallisierten Pyroxenphasen ein  $K_{\text{Al}}$  von 1.62 bis 1.64. Die von Ross et al. ( 1954 )

untersuchten Ultramafiteinschlüsse weisen ein  $K_{Al}$  von 1.14 bis 1.35 auf und die eigenen Analysen lieferten ein  $K_{Al}$  von 0.9098 für die Ultramafiteinschlüsse vom Teichelberg und ein  $K_{Al}$  von 1.2537 für die vom Zinster Berg ( Abb.30 ) . Die niedrigen  $K_{Al}$  - Werte der eigenen Analysen sprechen für eine primäre Mineralparagenese der Ultramafiteinschlüsse, die in etwa gleicher Tiefe wie die von Hawaii ( Ross et al. 1954; White 1966; Jackson & Wright 1970 ) entstanden sind.

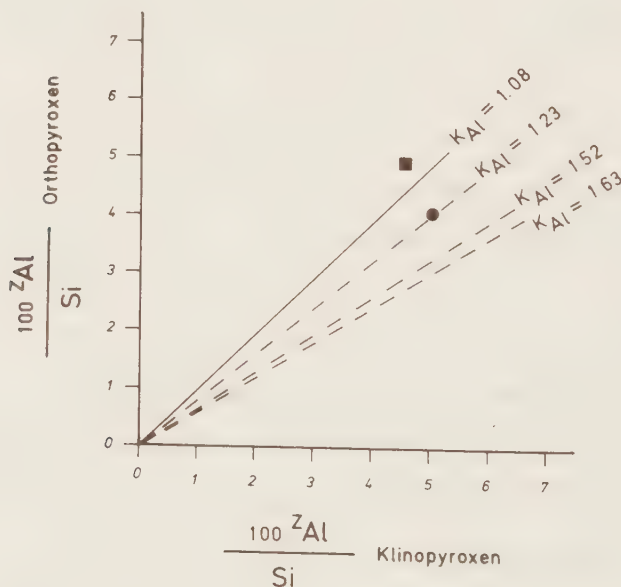


Abb. 30 Al - Si - Verteilung in koexistierenden Ortho - und Klinopyroxenen nach Green ( 1964 ) . ■ Al - Si - Verteilung aus den Ultramafiteinschlüssen vom Teichelberg, ● Al - Si - Verteilung aus den vom Zinster Berg,  $K_{Al}=1.08$  Mittelwert der untersuchten Proben,  $K_{Al}=1.23$  Mittelwert der Lizard-Peridotite,  $K_{Al}=1.63$  Mittelwert der rekristallisierten Lizard-Peridotite,  $K_{Al}=1.52$  Mittelwert der metamorphen Ultramafite.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Ultramafiteinschlüsse in ihrem Chemismus und Mineralbestand sehr gut mit den Untersuchungen anderer Autoren übereinstimmen ( Ross et al. 1954; Hamad 1963; White 1966; Kuno & Aoki 1970; u.a. ).

Die Detailuntersuchungen sprechen für eine Entstehung der Ultramafiteinschlüsse unter den P - T - Bedingungen des oberen Erdmantels.

## C. Petrogenese

### 1) Alkalibasalte

Hinsichtlich der Entstehung der Olivinnepheline wurden von mehreren Autoren experimentelle Versuche durchgeführt, wie z.B. von Kushiro & Kuno ( 1963 ); Kushiro ( 1965 ); Green & Ringwood ( 1967b ); Bulditude & Green ( 1968 ); Schairer & Yoder ( 1964 ).

Green & Ringwood ( 1967b ) versuchten experimentell aus einem als "Pyrolit" bezeichneten Ausgangsgestein des oberen Mantels ( sein Pauschalchemismus ist in etwa als peridotitisch oder lherzolitisch anzusprechen ) die Entstehung der Olivin - Tholeiite und Alkaliolivinbasalte durch partielle Aufschmelzung unter verschiedenen Drucken aus diesem "Pyrolit" zu erklären. Dabei kann der Olivin - Tholeiit in einer Tiefe von 35 - 70 km durch eine 30 %ige Aufschmelzung und der Alkaliolivinbasalt durch eine 20 %ige Aufschmelzung in der gleichen Tiefe aus dem "Pyrolit" gedeutet werden.

Bulditude & Green ( 1968 ) erklären die Bildung der Olivinnepheline in einer Tiefe von 80 - 100 km durch partielle Aufschmelzung des "Pyrolits". Bei geringerem  $H_2O$  - Gehalt werden die Schmelztemperaturen um etwa  $200^{\circ}C$  erniedrigt und ein kleiner Schmelzanteil kann im Gleichgewicht mit



Arbeit zugrunde liegen, kann angenommen werden, daß der Nephelinbasanit ein Differentiat des Olivinnephelinites ist. Diese Annahme kann durch folgende kurz aufgezeigte Punkte gestützt werden :

1. Die Abbildungen 17 und 18 , in denen die Oxidgehalte der Hauptelemente bzw die Spurenelementkonzentrationen gegen den "Differentiationsfaktor"  $( 1 / 3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg} )$  eingetragen sind, zeigen deutlich, daß diese Elemente zu einem Differentiationsprozeß der basaltischen Schmelze von olivinnephelinitischer Zusammensetzung in Richtung einer nephelinbasanitischen Zusammensetzung neigen.
2. Die Darstellung der Spurenelementgehalte in Abhängigkeit vom Fo-Gehalt ( Abb. 19 und 20 ) zeigt eine allgemeine Tendenz zur Differentiation von Olivinnephelinit zu Nephelinbasanit an.
3. Die Klinopyroxenenentwicklung, die hier die entscheidende Rolle spielt, bestätigt ohne weiteres diese Annahme. Aus dem ähnlichen Chemismus der Kerne der Einsprenglinge beider Alkalibasalte kann geschlossen werden, daß der Nephelinbasanit etwa in gleicher Tiefe wie der Olivinnephelinit entstanden ist.
4. Vergleiche mit Basaltvorkommen in anderen Gebieten verstärken die Annahme, daß in der Oberpfalz die Nephelinbasanite aus den Olivinnepheliniten durch einen Differentiationsprozeß entstanden sind. ( vergleiche Alkalibasalte des Oberrheingrabens, in Texas u. a. ).

Aufgrund all dieser Feststellungen kann angenommen werden, daß der Olivinnephelinit ein primäres Magma war, dessen Bildung unterhalb einer Tiefe von ca 50 km erfolgte. Durch Absaigerung einiger Prozente an Frühkristallisaten ( Olivineinsprenglinge ) in einer hypothetischen Magmakammer und auf dem Wege vom Ort der Entstehung nach oben entstand eine Schmelze, die, verglichen mit dem primären olivinnephelinitischen Magma, reicher an  $\text{SiO}_2$  war. Ein sehr kleiner Teil dieser Schmelze, der eine nephelinbasanische Zusammensetzung hatte, wie es heute volumenmäßig untergeordnet auftritt, drang irgendwo in der Umgebung durch. Beim Aufstieg der Magmen erfolgte keine Differentiation mehr, sondern sie kristallisierten normal unter Oberflächenbedingungen.

## 2) Ultramafiteinschlüsse

Das Problem der Entstehung der Ultramafiteinschlüsse wurde seit vielen Jahren diskutiert und gab Anlass zu mehreren Hypothesen. In den letzten Jahren konnte durch experimentelle Untersuchungen ein Teil dieser Hypothesen ausgeschlossen werden, wodurch nur zwei übrig bleiben.

1) Die Ultramafiteinschlüsse sind Akkumulate früh ausgeschiedener Kristalle aus Magmenreservoirren, die anschließend Basaltschmelzen förderten ( O'Hara 1965 ; Green 1966 ; O'Hara & Yoder 1963, 1967 ; Green & Ringwood 1967a, 1967b ).

2) Die Ultramafiteinschlüsse sind ungeschmolzene Reste von primärem Mantelmaterial aus dem durch fraktionierte Kristallisation die Basalte entstanden sind ( Powers 1955 ; O'Hara 1965 ; Green & Ringwood 1967c ; Ito & Kennedy 1967 ).

Diese zwei Hypothesen schliessen die Entstehung der Ultramafiteinschlüsse

unter hohen P - T - Bedingungen aus, wie die Mineralparagenese und experimentellen Untersuchungen zeigen ( vgl. auch Jackson & Wright 1970 ).

Schmelzversuche an natürlichen Peridotiten bis zu 40 kb wurden von Ito & Kennedy ( 1967 ) unternommen, an Lherzoliten bis 50 kb von Nishikawa et al. ( 1970 ). Sie zeigten, daß der Lherzololith oder Spinell - Peridotit ( Mineralparagenese Olivin + Enstatit + Diopsid + Spinell ) bis 23 kb und etwa 1350°C stabil ist und bei 1 atm Druck und 1100°C zu schmelzen beginnt. Bei Drucken oberhalb von 23 kb erscheint Granat, der mit Spinell bis 27 kb koexistiert. Ab 27 kb ist Granatperidotit ( Olivin + Orthopyroxen + Klinopyroxen + Granat ) stabil.

Aus den chemischen Analysen der Ultramafiteinschlüsse konnte ermittelt werden, daß die Gleichgewichtstemperatur von Olivin - Orthopyroxen 1400°C und 1470°C beträgt ( Abb. 27 ), die Gleichgewichtstemperatur zwischen Ortho - und Klinopyroxen bei etwa 1450°C ( Abb. 26 ) liegt und Bildungsbedingungen der Klinopyroxene bei etwa 1140°C und 16 kb ( Abb. 29 ) liegen.

Diese Ergebnisse sind ohne Zweifel befriedigend und liegen innerhalb der Stabilitätsbereiche der Spinell - Peridotit - Paragenese. Es kann gesagt werden, daß die untersuchten Ultramafiteinschlüsse in Bereichen des oberen Mantels gebildet wurden, oder Reste des Erdmantels sind.

Der Chemismus der Ultramafiteinschlüsse und ihrer Minerale spricht für eine Entstehung ( der Ultramafiteinschlüsse ) aus schon verfestigtem Mantelmaterial ( Peridotit ) und nicht für eine Akkumulation früh ausgeschiedener Kristalle aus einem basaltischen Magma. Für die erstere Hypothese müßten nach Kuno ( 1969 ) drei verschiedene Bedingungen erfüllt sein, was mit den eigenen Untersuchungen gut übereinstimmt.

Das Verhältnis  $\text{MgO}/\Sigma\text{FeO}$  in Olivin von Ultramafiteinschlüssen soll höher als in den Olivineinsprenglingen der Wirtsbasalte sein.

Eigene Ergebnisse:

$\text{MgO}/\Sigma\text{FeO} = 5.45$  für Olivin der Ultramafiteinschlüsse vom Teichelberg

$\text{MgO}/\Sigma\text{FeO} = 5.43$  für Olivin der Ultramafiteinschlüsse vom Zinster Berg

$\text{MgO}/\Sigma\text{FeO} = 3.90$  für Olivineinsprenglinge des Wirtsbasalts vom Teichelberg

Der  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - Gehalt des Olivins der Ultramafiteinschlüsse soll sich umgekehrt zu dem der Olivineinsprenglinge des Wirtsbasalts verhalten.

Eigene Ergebnisse:

$\text{Cr}_2\text{O}_3 = 216$  ppm für Olivin der Ultramafiteinschlüsse vom Teichelberg

$\text{Cr}_2\text{O}_3 = 228$  ppm für Olivin der Ultramafiteinschlüsse vom Zinster Berg

$\text{Cr}_2\text{O}_3 = 272$  ppm für Olivineinsprenglinge des Wirtsbasalts vom Teichelberg

Das Verhältnis  $\text{MgO}/\Sigma\text{FeO}$  und der  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - Gehalt im Klinopyroxen der Ultramafiteinschlüsse sollen höher als in den Klinopyroxeneinsprenglingen der Wirtsbasalte sein.

Eigene Ergebnisse:

$\text{MgO}/\Sigma\text{FeO} = 4.73$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 8637$  ppm für Enstatit der Ultramafiteinschlüsse  
vom Teichelberg

$\text{MgO}/\Sigma\text{FeO} = 5.12$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 8667$  ppm für Enstatit der Ultramafiteinschlüsse  
vom Zinster Berg

$\text{MgO}/\Sigma\text{FeO} = 1.52$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 513$  ppm für Grundmasseklinopyroxene des  
Wirtsbasalts vom Teichelberg

## VII. Methodisches

Für die geochemischen Untersuchungen der Basalte in der Oberpfalz wurde eine besondere Behandlung der Gesteinsproben vorgenommen. Bei den zu je 5 - 6 kg gesammelten Basaltproben und den Ultramafiteinschlüssen ( 2 Proben zu jeweils 20 kg ) wurde besonders auf den frischen Zustand des Materials geachtet. In den Vorbereitungsräumen des hiesigen Instituts wurden von jeder Probe zuerst zwei Dünnschliffe angefertigt und die Restmenge für Gesteinsanalysen und Mineraltrennungen verwendet. Jede Probe wurde mit einem Backenbrecher auf eine Korngröße von 0.6 bis 0.8 cm zerkleinert, das zerkleinerte Material mit Hilfe eines Probenteilers 5 - 6 mal gemischt und ca 100 g für die chemischen Analysen abgeviertelt. Von diesen 100 g wurden 30 g auf einem Blatt Papier verteilt und die zufälligen Eisenspäne vom Backenbrecher mit einem Handmagneten entfernt. Anschliessend wurde das so gereinigte Material mit dem Widiamühle analysenfein gemahlen. Der Rest von 70 g Gesteinsmaterial wurde aufbewahrt. Für die Mineraltrennung wurden die Proben in folgender Weise aufbereitet:

Das aus dem Backenbrecher gewonnene Material mit der Korngröße 0.6-0.8 cm wurde nochmals mit einer Stahlmühle bis auf 0.1 cm aufgemahlen. Durch Absieben wurden 7 Fraktionen, nämlich <32; 32 - 45; 45 - 63; 63 - 125; 125 - 250; 250 - 500; >500 $\mu$  gewonnen, die mehrmals mit Wasser abgeschlämmt wurden. Diese Fraktionen wurden mit einem im hiesigen Institut entwickelten Magnetscheider behandelt. Bei sämtlichen Fraktionen wurde in folgender Weise vorgegangen:

Zuerst wurde eine kleine Feldstärke ( entsprechend einer Stromstärke von 0.8 - 1.0 A ) eingestellt und das Material von allen Eisenspänen aus dem Backenbrecher und dem Stahlmörser, sowie von dem im Gestein enthaltenen Magnetit samt seinen Verwachsungen befreit. Bei einer Stromstärke von 6.0 - 6.5 A wurden die Minerale der im Basalt eingeschlossenen Ultramafiteinschlüsse, sowie Calcit und die Zeolithe als weniger magnetische Komponente, abgetrennt. Die so entstandenen paramagnetischen Anteile einer jeden Fraktion enthielten nur die gewünschten Basaltminerale ( Ol, Kpx, Ne und Pl ) sowie etwas Magnetit.

Für die Gewinnung der Olivineinsprenglinge wurden die Fraktionen 125 - 250 und 250 - 500 nochmals bei einer Stromstärke 5.2 - 5.4 A in Magnetscheider behandelt und dabei die eisenärmeren Olivineinsprenglinge als diamagnetische Anteile von den übrigen Mineralen (Ol der Grundmasse, Kpx, Erz, Ne bzw Pl) abgetrennt. Dabei wurde eine Anreicherung der Olivineinsprenglinge von etwa 90% erreicht. Zur Gewinnung von 100% reinen Olivineinsprenglingen wurde eine Mikrosaugvorrichtung benutzt, mit der unter dem Binokularmikroskop, alle Verwachsungen und Verwitterungsprodukte entfernt wurden. Die Klinopyroxeneinsprenglinge wurden aus der Fraktion 90 - 105 $\mu$  gewonnen. Nach dieser Vortrennung mit dem großen Magnetscheider wurde das Material mit dem von der Fa. Franz serienmäßig gebauten Magnetscheider weiter behandelt. Bei einer Seitenneigung von 20° und stufenweise erhöhter Stromstärke von 0.7, 0.75 und 0.8 A, konnte ein bis zu 95% reines diamagnetisches Klinopyroxenkonzentrat erreicht werden. Auch hier wurde anschließend mit Hilfe der Mikrosaugvorrichtung eine 100%ige Reinheit erreicht.

Die Gewinnung der Grundmasseminerale Olivin, Klinopyroxen, Nephelin und Plagioklas gestaltete sich schwieriger. Als geeignete Fraktion wurde 32 - 45 $\mu$  gewählt. In dieser Fraktion ist ein großer Anteil Erz enthalten, der naßmagnetisch abgetrennt werden mußte. Die dazu verwendete Apparatur bestand aus einem Glasrohr (Ø 1.5 cm) mit einem am unteren Ende. Dieses Glasrohr wurde an einem Ständer befestigt und an der Seite des Glasrohres ein starker Handmagnet befestigt. Die Fraktion 32 - 45 $\mu$  wurde mit Wasser vermisch, sodaß ein dünner Brei entstand, der dann in das Glasrohr geleitet wurde. Die Erzkörner mit ihren Verwachsungen wurden an die Magnetseite gezogen. Durch langsames Öffnen des Hahns und durch mehrmalige Wiederholung dieses Vorgangs konnte diese Fraktion fast vollständig von ihrem Erzanteil gereinigt werden. Das getrocknete Material konnte nur mit Hilfe von Schwerflüssigkeiten und einer Zentrifuge (bis 5000 U/min) in seine Einzelphasen zerlegt werden. Mit Tetrabromäthan (D = 2.96) wurde das Gesteinsmehl zunächst in seine leichteren (Ne bzw Pl) und schwereren Anteile (Ol, Kpx) zerlegt.

Zur Feingewinnung von Nephelin (D = 2.42) aus den Olivinnepheliniten wurde mit Aceton verdünntes Tetrabromäthan mit den Dichten 2.60 und 2.64 ver-

wendet. Entsprechend wurden zur Abtrennung der Plagioklasphasen ( $D=2.68$ ) aus den Nephelinbasaniten die Dichten 2.65 und 2.70 benutzt.

Olivin und Klinopyroxen der Grundmasse wurden bereits bei der ersten Behandlung mit Tetrabromäthan im schwereren Anteil angereichert. Dieser wurde mit Clerici - Lösung ( $D = 4.10$ ) weiter bearbeitet. Zuerst konnte das Resterz samt seinen Verwachsungen mit der konzentrierten Clerici - Lösung abgetrennt werden. Der leichtere Anteil enthielt nur Olivin und Klinopyroxen. Bei einer Verdünnung der Clerici - Lösung bis  $D = 3.37$  erfolgte die Trennung dieser beiden Mineralphasen, da Olivin schwerer als Klinopyroxen ist. Zufällig dazwischen geratene Bruchstücke von Olivineinsprenglingen ( $D = 3.29$ ) konnten vom Grundmasseolivin ( $D = 3.42 \pm 0.03$ ) durch abermalige Verdünnung der Clerici - Lösung auf 3.30 abgesondert werden. Grundmasseklinopyroxene, Nephelin und Plagioklas konnten nicht bis zu einem 100%igen Reinheitsgrad gewonnen werden. Der Verunreinigungsgrad dieser Mineralphasen wurde anhand von Streupräparaten unter dem Mikroskop durch Auszählen bestimmt. Dementsprechend wurden die chemischen Analysen dieser Mineralphasen korrigiert. Die Minerale der Ultramafiteinschlüsse wurden wegen ihrer besonderen Korngröße (bis  $500 \mu$ ) unter dem Binokular durch Handauslese gewonnen. Die chemischen Analysen erfolgten im geochemischen Labor des hiesigen Instituts.

Die Hauptelemente Si, Al, Ca, Ti, Mn und g.Fe (als  $\text{Fe}^{+3}$ ) wurden durch Röntgenfluoreszenzanalyse und die übrigen Elemente K, Na, Mg,  $\text{Fe}^{+2}$  sowie P durch naßchemische Methoden bestimmt.

Für die röntgenspektralanalytische Bestimmung wurden Tabletten hergestellt, die aus einem Gemisch von 0.8 g Probe, 0.48 g innerem Standard und 2.4 g  $\text{LiB}_4\text{O}_7$  als Flußmittel bestanden. Zur Herstellung dieser Tabletten wurde ein Gemenge dieser Substanzen in einem Goldplattintiegel bei  $1100^\circ\text{C}$  geschmolzen, anschließend abgeschreckt und in einer Achtmühle 15 min lang fein gemahlen. Dieses Pulver wurde auf Ringformat ( $\phi 3 \text{ cm}$ ) gebracht und mit 3-4 Tropfen 2.0%ger Moviollösung in einer hydraulischen Presse unter einem Druck von 3 atm gepreßt.

Als Eich - und Vergleichssubstanzen für die Bestimmung der Hauptelemente bei der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden die internationalen geochemischen

Tabelle 12 Meß - und Anregungsbedingungen

| Element    | Si                            | Al     | (Sr)   | Ca            | Ti    | (Sc)  | Fe    | (Sm)  | Mn    | (Sm)  |
|------------|-------------------------------|--------|--------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Röhre      | Cr                            | Cr     | Cr     | Cr            | Cr    | Cr    | Wo    | Wo    | Wo    | Wo    |
| Spannung   | 50                            | 50     | 50     | 30            | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    | 30    |
| Heizstrom  | 20                            | 20     | 20     | 20            | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |
| Kollimator | grob                          | grob   | grob   | fein          | fein  | fein  | fein  | fein  | fein  | fein  |
| Analysator | PET                           | PET    | PET    | PET           | PET   | PET   | LiF   | LiF   | LiF   | LiF   |
| Vakuum     | 1 - 2 x 10 <sup>-1</sup> Torr |        |        |               |       |       |       |       |       |       |
| Detektor   | Durchflußzähler               |        |        |               |       |       |       |       |       |       |
| Diskrimin. | ja                            | ja     | ja     | Schwelle 0.55 |       |       |       |       |       |       |
| Schreiber  | 40 mm / min                   |        |        |               |       |       |       |       |       |       |
| Goniometer | 1 / 2° 2 Θ / min              |        |        |               |       |       |       |       |       |       |
| Zähldauer  | 1 min                         | 2 min  | 1 min  |               |       |       |       |       |       |       |
| Linie      | K α                           | K α    | L α    | K α           | K α   | K α   | K α   | L β   | K α   | L α   |
|            | 109.20                        | 145.06 | 103.43 | 45.20         | 36.67 | 40.60 | 57.45 | 59.48 | 62.91 | 66.18 |
| Untergrund | 112.40                        | 140.05 | 106.00 | 48.00         | 43.00 | 38.50 | 61.50 | 64.50 | 64.50 | 66.90 |
| Untergrund | 106.00                        | 43.00  |        |               |       |       |       |       |       |       |
|            |                               |        |        |               | 38.50 |       |       |       | 61.50 | 64.50 |

Standards G - 2, AGV - 1, BCR - 1, PC - 1 ( herausgegeben vom US Geol. Survey ) sowie ZGI - TB, ZGI - BM ( herausgegeben vom zentr. geol. Inst. Berlin ) verwendet.

Der Innere Standard bestand aus einer sehr guten Mischung von  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  und  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  im Verhältnis 57 : 2 : 1. Die Elemente Si und Al wurden gegen Strontium gemessen, Ca und Ti gegen Scandium und g.Fe und Mn gegen Samarium. Von den jeweiligen Intensitäten eines Elements wurde der Untergrund abgezogen und das Verhältnis ( Quotient ) Element zu Bezugselement des inneren Standards gebildet. Zur Darstellung einer Eichkurve für jedes Element, wurde der obengenannte Quotient gegen die jeweiligen Oxidgehalte der Standards auf ein rechteckiges Koordinatensystem aufgetragen. Die Lage der Eichgerade liess sich mathematisch ermitteln. Wenn  $y = a + bx$  die allgemeine Formel für eine Gleichung ersten Grades ist, dann können die Koeffizienten a und b durch Differentiation in horizontaler und vertikaler Richtung folgendermassen bestimmt werden:

$$b = \frac{\frac{n \sum y_i^2 - \left( \sum y_i \right)^2}{n \sum x_i^2 - \left( \sum x_i \right)^2}}{\sqrt{\frac{n \sum y_i^2 - \left( \sum y_i \right)^2}{n \sum x_i^2 - \left( \sum x_i \right)^2}}} \quad \text{und} \quad a = \frac{\sum y_i - (\pm b) \sum x_i}{n}$$

wobei y = Quotient Element zu Bezugselement des inneren Standards,  
 x = der Oxidgehalt der Probe und  
 n = die Anzahl der Proben ist.

Die Bedingungen, unter denen die Elemente gemessen wurden, sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Die übrigen Elemente wurden naßchemisch bestimmt:

K, Na flammenphotometrisch ( Beckmann - Flammenphotometer )

Mg komplexometrisch ( automatischer Titrator - Metrohm )

$\text{Fe}^{+2}$  potentiometrisch

P kolorimetrisch

### S maßanalytisch

$\text{H}_2\text{O}^-$  ( Minuswasser ) wurde aus der Differenzwägung vor und nach einer zweistündigen Trocknung der Proben im Trockenschrank bei  $110^\circ\text{C}$  bestimmt.  $\text{H}_2\text{O}^+$  ( Kristallwasser ) durch die Penfield - Methode .

Zum Abschluß wurde eine Einzelprobe 10 mal analysiert, um systematische und apparative Fehler zu bestimmen. Dieser Fehler wurde als relativer Fehler in % ausgedrückt und ist für jedes Element unterschiedlich. Die relativen Fehler ( in % ) der einzelnen Oxide ergaben folgende Werte:

$\text{SiO}_2 = 0.83$ ;  $\text{TiO}_2 = 0.56$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.51$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.99$ ;  $\text{FeO} = 0.54$ ;  
 $\text{MnO} = 3.25$ ;  $\text{MgO} = 1.63$ ;  $\text{CaO} = 0.76$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 2.65$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 1.94$ ;  
 $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.85$ ;  $\text{H}_2\text{O}^- = 6.08$ ;  $\text{H}_2\text{O}^+ = 3.68$ .

Die Bestimmung aller Spurenelemente erfolgte mit Hilfe der Emissionsspektrographie. Als innerer Standard wurde Pd genommen, das vorher mit Graphit im Verhältnis 3 : 1000 gut gemischt worden war. Eine Probenmenge von 50 mg wurde mit der doppelten Menge von Graphit + Pd gut gemischt. Mit jeder Probe wurden drei Becher - Elektroden gefüllt und abgebrannt. Die Schwärzungsmessungen erfolgten mit dem Zeiss - Schnellphotometer, die Auswertung, unter Berücksichtigung des Untergrundes, mit Hilfe des Aristo - Respekta - Rechengerätes.

Die verwendeten Analysenbedingungen und Analysenlinien sind im folgenden zusammengestellt:

|                   |                                                                                        |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Spektrograph      | R.S.V. Gitterspektrograph, $f = 3.5 \text{ m}$                                         |
| Gitter            | 1800 Strich / mm                                                                       |
| Spektralbereich   | 2830 - 3530 Å                                                                          |
| Filter            | 3 - Stufenfilter mit 5%, 30% und 100% Durchlässigkeit                                  |
| Spalt             | 0.15 mm breit und 3.6 mm hoch                                                          |
| Schaltung         | anodisch                                                                               |
| Anregung          | Gleichstrom 8 A                                                                        |
| Belichtung        | 120 sec                                                                                |
| Elektrode         | Ringsdorf - Spektralkohle RW - I Trägerelektrode<br>RW - 0078, Gegenelektrode RW - 203 |
| Elektrodenabstand | 6.0 mm                                                                                 |

|                      |                                                     |            |
|----------------------|-----------------------------------------------------|------------|
| Photoplatte          | Agfa Gewaert Scientia 34 B 50                       |            |
| Entwicklung          | Rodinal 1 : 20 ; 5 min Schaukelentwicklung bei 20°C |            |
| Verwendete Standards | AGV - 1; GSP - 1; BCR - 1; ZGI - TB; ZGI - BM.      |            |
| Analysenlinien       | Cr                                                  | 3021.558 Å |
|                      | V                                                   | 3183.406   |
|                      | Pd                                                  | 3242.70    |
|                      | Cu                                                  | 3247.54    |
|                      | Y                                                   | 3327.88    |
|                      | Sc                                                  | 3353.73    |
|                      | Co                                                  | 3449.17    |
|                      | Sr                                                  | 3464.46    |
|                      | Ni                                                  | 3472.545   |
|                      | Zr                                                  | 3496.21    |
|                      | Ba                                                  | 3501.116   |

Der qualitative Mineralbestand wurde optisch bestimmt und der quantitative mit dem Swift & Co Intergrationstisch.

Röntgenographisch wurden zusätzlich folgende Bestimmungen durchgeführt:

- 1) Das  $\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}$  - Verhältnis der Olivine der Ultramafiteinschlüsse nach Jackson ( 1960 ).
- 2) Das  $\text{K} / \text{K} + \text{Na}$  - Verhältnis der Nepheline nach Hamilton & Mackenzie ( 1960 ).

Für diese Bestimmungen wurde ein Röntgendiffraktometer der Fa. Philips - Müller mit Schreiber verwendet. Das Gerät wurde mit einer Kupferröhre bei 40 kV und 20 mA Anreibungsbedingungen betrieben.

### VIII. Zusammenfassung

In 5 tertiären Alkalibasalten (Olivinnepheliniten und Nephelinbasaniten) und 2 Ultramafiteinschlüssen (Lherzoliten) aus der Oberphalz wurden petrographische, geochemische und röntgenographische Untersuchungen vorgenommen, um die petrologische Entwicklung dieser Gesteine festzustellen.

Weiterhin konnte in einem einzigen Olivinnephelinit - Vorkommen aus dem Stbr. Teichelberg mit statistischen Verfahren die Variation der Chemismus in diesem Basaltkörper nach allen Richtungen hin ermittelt werden.

Von allen Alkalibasalten wurden die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale, wie Olivin (Einsprenglings- und Grundmasseolivine), Klinopyroxen (Einsprengling- und Grundmasseklinopyroxene), Nephelin und Plagioklas abgetrennt. Die Mineralkomponenten (Olivin, Enstatit, Cr - Diopsid und Cr - Spinnel) in den Ultramafiteinschlüssen konnten alle abgetrennt werden.

Neben den chemisch analysierten Hauptelementen, wurden auch die Spurenelemente Cr, Ni, Co, Cu, V, Zr, Sc, Y, Sr und Ba in allen Gesteinen und abgetrennten Mineralphasen bestimmt. Bei den Ultramafiteinschlüssen und ihren Olivinen wurde zusätzlich S bestimmt.

Die Untersuchungen ergaben folgende Ergebnisse:

Die Nephelinbasanite sind durch Differentiation aus den Olivinnepheliniten in der Tiefe entstanden.

Dies wurde ermittelt:

1) durch das Verhalten der Haupt- und Spurenelemente beider Gesteinstypen gegen den "Differentiationsfaktor" ( $\frac{1}{3} \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$ ), vergleichbar

der Differentiationstendenz anderer Alkalibasalte,

- 2) durch das Verhalten der Elemente in den Olivinen gegen den Fo-Gehalt,
- 3) durch das Verhalten der einzelnen Kationen, Ac + Jd -, Tsch. - Komponenten und Spurenelemente gegen den Fe - Gehalt in den Klinopyroxenen,
- 4) durch Vergleiche mit anderen Alkalibasalten der Erde, sowie mit Hilfe experimenteller Ergebnisse.

Bei Olivinen und Klinopyroxenen lassen sich jeweils 2 Generationen unterscheiden deren unterschiedlicher Chemismus auf verschiedene P - T - Bildungsbedingungen zurückgehen dürften.

Die stoffliche Zusammensetzung des Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg ist sehr gleichbleibend. Die Irrtumswahrscheinlichkeiten in den einzelnen Oxiden liegen immer unter 5%. Außerdem konnte in den 86 Gesteinsproben dieses Alkalibasalts keine nennenswerte Variation des Mineralbestands festgestellt werden.

Was die Ultramafiteinschlüsse angeht, so sind diese als Reste bereits verfestigten Mantelmaterials zu betrachten und nicht als Akkumulate frühausgeschiedener Basalte. Dieses Ergebnis erbrachten die Gehalte einiger Oxide im Olivin ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ), Enstatit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ) und Cr - Diopsid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Gestützt wird diese Ansicht auch durch experimentelle Befunde.

#### Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde von September 1969 bis Januar 1973 im Petrographisch - Mineralogischen Institut der Universität München bei Herrn Prof. Dr. H. G. Huckenholz ausgeführt, dem ich sehr herzlich danken möchte für vielfache Unterstützung und wertvolle Diskussionen. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die finanzielle Unterstützung meiner Arbeit.

LITERATURVERZEICHNIS

- Aoki, K. I. : Clinopyroxenes from alkaline rocks of Japan. Amer. Min.  
49, 1199-1223, (1964)
- Atkins, F. B. : Pyroxenes of the Bushveld intrusion, South Africa. J. of  
Petrol. 10, 222-249, (1969)
- Bannister, F. A. & Hey, M. H. : A chemical, optical and X-ray study of nephe-  
line and kaliophilite. Min. Mag. 22, 569-608, (1931)
- Bartholomé, P. : Co-exting pyroxenes in igneous and metamorphic rocks.  
Geol. Mag. 98, 346-348, (1961)
- Iron-magnesium ratio in association pyroxenes and olivines.  
Geol. Soc. Amer., Buddington vol. , 1-20, (1962)
- Boricky, ( Archiv natur. Landesdurchf. Bohmen, 2<sub>a</sub>, Geol. Abt.,  
2 Teil, 40, 1874 ) ref. Tröger (1969)
- Boyd, F. R. & England, J. L. : Minerals of the mantle. Carnegie Inst. Wash.  
Yearb. 59, 47-52, (1960)
- & Schairer, J. F. : The system  $MgSiO_3$  -  $CaMgSi_2O_6$ . J. of Petrol.  
5, 275-309, (1964)
- Brown, G. M. & Vincent, E. A. : Pyroxenes from the late stages of fractionation  
of the Skaergaard intrusion, East Greenland. J. of Petrol.  
4, 175-197, (1967)
- Bultitude, R. J. & Green, D. H. : Experimentall study of high pressures on the  
origin of olivin-nephelinite and olivine melilite nephelinite  
magmas. Earth and Planetary Sci. Letters 3, 325-337, (1968)
- Carr, M. H. & Turekian, K. K. : The geochemistry of cobalt. Geoch. et Cosm.  
Acta 23, 9-60, (1961)
- Chao, E. T. & Fleischer, M. : Abundance of zirconium in igneous rocks. 21st  
Intern. Geol. Cong. Rept. 106-131, (1960)

- Chaudhuri, S. : Petrographische und geochemische Untersuchungen an den Alkaliolivinbasalten und Basaniten der südlichen Hoheifel. Diss. Univ. Köln (1970)
- Clark, S. P., Schairer, J. F. and de Neufvill, J. : Phase relations in the system  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  -  $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$  -  $\text{SiO}_2$  at low and high pressure. Carnegie Inst. Wash. Yearb. 61, 59-61, (1962)
- Cornwall, H. R. & Rose, H. J. : Minor elements in Keweenawan lavas, Michigan. Geoch. et Cosm. Acta 12, 209-224, (1957)
- Damour, A. : Examen minéralogique d'une roche désignée sous le nom de lherzolite. Bull. Soc. Géol. France, Ser. 2, 19, 413, (1862)
- Davis, B. T. C. & Boyd, F. R. : The join  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  -  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  at 30 kb pressure and its application to pyroxenes from kimberlites. J. Geophys. Research 71, 3567-3576, (1966)
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. : Rock-forming minerals. London (1963)
- Dörr, A. : Beitrag zur chemischen Kenntnis der Basalte des Fichtelgebirges. Diss. Erlangen (1895)
- Egenter, P. : Einschlüsse in Basalten der Oberpfalz. Ber. d. naturw. Ver. Regensburg XIII, 54-64, (1910)
- Ficke, B. : Petrologische Untersuchungen an tertiären basaltischen bis phonolitischen Vulkaniten der Rhön. Tsch. Min. u. Petr. Mit. Bd. 7, H. 4, 337-436, (1960)
- Frisch, T. : Die chemische Zusammensetzung der Olivine in Peridotitknollen aus der Oberpfalz. N. Jb. Min. Mh. 2, 70-74, (1970)
- Fröhlich, F. : Beitrag zur Geochemie des Chroms. Geoch. et Cosm. Acta 20, 215-240, (1960)
- Gramse, M. : Quantitative Untersuchungen mit der Elektronen-Mikrosonde an Pyroxenen aus Basalten und Peridotit-Einschlüssen. Contr. Min. and Petrol. 29, 43-73, (1970)

- Green, D. H. : Petrogenesis of the high-temperature peridotite intrusion in the Lizard area, Cornwall. *J. of Petrol.* 5, 134-188, (1964)
- The origin of the "eclogites" from Salt Lake Grater, Hawaii. *Earth and Planetary Sci. Letters* 1, 414-420, (1966)
- A review of experimental evidence on the origin of basaltic and nephelinitic magmas. *Phys. Earth Planetary Interiors* 3, 221-235, (1970)
- Green, D. H. & Ringwood, A. E. : An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its potential petrological applications. *Geoch. et Cosm. Acta* 31, 767-833, (1967a)
- The genesis of basaltic magmas. *Contr. Min. and Petrol.* 15, 103-190, (1967b)
- The stability fields of aluminous pyroxene peridotite and garnet peridotite and their relevance in Upper Mantle structure. *Earth and Planetary Sci. Letters* 3, 151-160, (1967c)
- Gümbel, C. W. : *Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges*. Perthes Gotha (1879)
- Hahn, T. & Buerger, M. J. : The detailed structure of nepheline  $\text{KNa}_3\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$ . *Zeits. Krist.* 106, 308-338, (1955)
- Hamad, S. El D. : The chemistry and mineralogy of the olivine nodules of Calton Hill, Derbyshire. *Min. Mag.* 33, 483-497, (1963)
- Hamilton, D. L. & Mackenzie, W. S. : Nepheline solid solution in the system  $\text{NaAlSiO}_4$  -  $\text{KAlSiO}_4$  -  $\text{SiO}_2$ . *J. of Petrol.* 1, 1-56, (1960)
- Heier, K. S. : Some crystallo-chemical relations of nephelines and feldspars on Stjernöy, North Norway. *J. of Petrol.* 7, 95-113, (1966)
- Hess, H. H. : Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes, Pt 1. *Amer. Min.* 34, 621-666, (1949)
- The Stillwater igneous complex, Montana. *Geol. Soc. Amer. Memoir* 80 (1960)

- Huckenholz, H. G. : I. Die Klinopyroxene der Alkaliolivinbasalt-Trachyt-  
Assotiation. Contr. Min. and Petrol. 11, 134-195, (1965)
- II. Die Klinopyroxene der Basanitoide. Contr. Min. and  
Petrol. 11, 415-448, (1965)
- III. Die Klinopyroxene der Pikritbasalte ( Ankaramite )  
Contr. Min. and Petrol. 12, 73-95, (1966)
- Iida, C. : Trace elements in minerals and rocks of the Izu-Hakone  
region, Japan. Pt. 2 Plagioklase. J. Earth Sci. 9, 14-28, (1961)
- Kuno, H. & Yamasaki, K. : Trace elements in minerals and rocks of the  
Izu-Hakone region, Japan. Pt. 1 Olivin. J. Earth Sci. 9, 1-13,  
(1961)
- Ito, K. & Kennedy, G. C. : Melting and phase relations in a natural peridotite  
to 40 kb. Amer. J. of Sci. 265, 519-538, (1967)
- Jackson, E. D. : X-ray determinative curve for natural olivine of composition  
Fo<sub>80-90</sub>. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 400B, 432-434, (1960)
- The character of the Lower Crust and Upper Mantle beneath  
the Hawaiian Islands. 23 Int. Geol. Cong., Prague, Proc. 1,  
135-150, (1968)
- & Wright, T. L. : Xenoliths in the Honolulu volcanic series,  
Hawaii. J. of Petrol. 11, 405-430, (1970)
- Kretz, R. : Some applications of thermodynamics to coexisting minerals  
of variable compositions. Examples: orthopyroxene-clinopy-  
roxene and orthopyroxene-garnet. J. Geol. 69, 361-387, (1961)
- Distribution of magnesium and iron between orthopyroxene  
and calcic pyroxene in natural mineral assemblages.  
J. Geol. 71, 773-785, (1963)
- Kreyszig, E. : Statistische Methoden und ihre Anwendung. Vandenhoeck &  
Ruprecht in Göttingen S. 422, (1965)

- Kuno, H. : Study of orthopyroxenes from volcanic rocks. Amer. Min.  
39, 30-45, (1954)
- Mafic and ultramafic nodules in the basaltic rocks of Hawaii.  
Geol. Soc. of Amer. Memoir 115, 189-223, (1969)
- & Aoki, K. I. : Chemistry of ultramafic nodules and their bearing on  
the origin of basaltic magmas. Earth Planetary Interiors  
3, 273-301, (1970)
- Kushiro, I. : Si - Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks.  
Amer. J. of Sci. 258, 155-203, (1960)
- The liquidus relations in the systems forsterite -  $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ -  
silica and nepheline - silica at high pressures. Carnegie  
Inst. Wash. Yearb. 64-65, 103-109, (1965)
- & Kuno, H. : Origin of primary basalt magmas and classification  
of basaltic rocks. J. of Petrol. 4, 75-89, (1963)
- Lacroix, A. : Étude minéralogique de la lherzolite des Pyrénées et de  
ses phénomènes de contact. Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat.,  
Ser. 3, 6, 209-308, (1894)
- Les phénomènes de contact de la lherzolite et de quelques  
ophites des Pyrénées. Bull. serv. carte géol. France 42,  
6, 307-446, (1895)
- Macdonald, G. A. : Composition and origin of Hawaiian lavas. Geol. Soc. of  
Amer. Memoir 116, 477-522, (1968)
- & Katsura, T. : Chemical composition of Hawaiian lavas.  
J. of Petrol. 5, 82-133, (1964)
- McDougall, I. & Lovering, J. P. : Fractionation of chromium, nickel, cobalt  
and copper in a differentiated dolerite - granophyre sequence  
at Red Hill, Tasmania. Geol. Soc. Australia J. 10, 325-338,  
(1963)
- Merkel, P. : Die Basalte des großen und kleinen Teichelberges und des  
Langholz. Diss. Erlangen (1895)

- Mueller, R. F. : Analysis of relations among Mg, Fe and Mn in certain metamorphic minerals. *Geoch. et Cosm. Acta* 25, 267-296, (1961)
- Nishikawa, M., Kono, S. and Aramaki, S. : Melting of lherzolite from Ichinomegata at high pressures. *Phys. Earth Planetary Interiors* 4, 138-144, (1970)
- Nockolds, S. R. & Allen, R. : The geochemistry of some igneous rock series: Part II. *Geoch. et Cosm. Acta* 5, 245-285, (1954)
- Noll, W. : Geochemie des Strontiums. *Ch. d. Erde* 8, 507-600, (1934)
- O'Hara, M. J. : Primary magmas and the origin of basalts. *Scott. J. of Geol.* 1, 19-40, (1965)
- III Mineral paragenesis in ultrabasic rocks. 393-403, in P. J. Wyllie "Ultramafic and related rocks", J. Wyllie & Johns, New York - London - Sidney (1967)
- & Yoder, H. S., jr. : Partial melting of the mantle. *Carnegie Inst. Wash. Yearb.* 62, 66-71, (1963)
- -- Formation and fractionation of basic magmas at high pressures. *Scott. J. of Geol.* 3, 67-117, (1967)
- Oosterom, M. G. : The ultramafites and layered gabbro sequences in the granulite facies rocks on Stjernöy ( Finnmark, Norway ). *Leidse Geol. Mededelingen* 28, 177-296, (1963)
- Poldervaart, A. & Hess, H. H. : Pyroxenes in the cristallisation of basaltic magma. *J. of Geol.* 59, 472-489, (1951)
- Powers, H. A. : Composition and origin of basaltic magma of the Hawaiian Islands. *Geoch. et Cosm. Acta* 7, 77-107, (1955)
- Prinz, M. : The geochemistry of basaltic rocks: Trace elements. 271-324 in "Basalts" Bd. 1 Hess & Poldervaart (1967)
- Ramberg, H. & Devore, G. W. : The distribution of  $Fe^{+2}$  and  $Mg^{+2}$  in co-existing olivines and pyroxenes. *J. of Geol.* 59, 193-210, (1951)

- Ramdohr, P. : Die Erzminerale in gewöhnlichen magmatischen Gesteinen  
Abh. Preuß. Akad. Wiss. 2, 1-49, (1940)
- Richarz, R. : Die Basalte der Oberpfalz. Zs. d. Deuts. Geol. Ges. 72, 1-100  
(1920)
- Ringwood, A. E. : Melting relationships of Ni - Mg olivines and some geo-  
chemical implications. Geoch. et Cosm. Acta 10, 297-303,  
(1956)
- Ross, C. S., Foster, M. D. and Myers, A. T. : Origin of dunites and olivine - rich  
inclusions in basaltic rocks. Amer. Min. 39, 693-737, (1954)
- Rothstein, A. T. V. : Pyroxenes from the Dawros peridotite and some comments  
on their nature. Geol. Mag. 95, 456-462, (1958)
- Schairer, J. F. & Yoder, H. S. jr. : Crystal and liquid trends in simplified  
alkali basalt. Carnegie Inst. Wash. Yearb. 63-64, 65-74,  
(1964)
- Schütz, D. : Petrographisch - geochemische Untersuchungen an Olivin-  
knollen verschiedener Vorkommen. N. Jb. Min. Abh. 106,  
158-190, (1967)
- Sen, N., Nockolds, S. R. and Allen, R. : Trace elements in minerals from rocks  
of the S. Californian batholith. Geoch. et Cosm. Acta 16,  
58-78, (1959)
- Söllner, K. : Der Olivinnephelinit vom Teichelberg bei Gröschlattengrün  
und seine geologische Umgebung. Dipl. Arbeit Uni. München  
(1958)
- Der Olivinnephelinit vom Teichelberg bei Gröschlattengrün  
( Fichtelgebirge ). N. Jb. Min. Abh. 93, 324-388, (1960)
- Strunz, H., Paulitsch, P., Seeliger, E. und Tennyson, Ch. : Die Mineralien im  
Basalt von Gröschlattengrün in der Oberpfalz. Acta Albertina  
Ratisbonensia. Bd. 26, 9-34, Regensburg 1966
- Tiller, K. G. : The distribution of trace elements during differentiation of  
the Mt. Wellingson dolerite sill. Roy. Soc. Tasmania Pap.  
and Proc. 93, 153-158, (1959)

- Tröger, W. E. : Über den Fassait und über die Einteilung der Klinopyroxene.  
N. Jb. Min. Mh. 1951, 132-139, (1951)
- Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. ( Berlin 1938 )  
Unveränderter Nachdruck, Stuttgart 1969
- Tuttle, O. F. & Smith, J. V. : The nepheline-kalsilite system II: Phase relations.  
Amer. J. of Sci. 256, 571-589, (1958)
- Wager, L. R. & Mitchell, R. L. : The distribution of trace elements during  
strong fractionation of basic magma, a further study of the  
Skaergaard intrusion, East Greenland. Geoch. et Cosm.  
Acta 1, 129-208, (1951)
- Wedepohl, K. H. : Die Nickel- und Chromgehalte von basaltischen Gesteinen  
und deren Olivin-führenden Einschlüssen. N. Jb. Min. Mh.  
1963, 237-242, (1963)
- White, R. W. : Ultramafic inclusions in basaltic rocks from Hawaii.  
Contr. Min. and Petrol. 12, 245-314, (1966)
- Wilkinson, J. F. G. : Clinopyroxenes of alkaliolivine-basalt magma. Amer. Min.  
41, 724-743, (1956)
- The geochemistry of a differentiated teschenite sill near  
Gunnedah, New South Wales. Geoch. et Cosm. Acta 16, 123-150,  
(1959)
- Wimmenauer, W. : Zur Petrologie der Magmatite des Oberreingrabens.  
Forsh. d. Min. 47, 242-262, (1970)
- Vagi, K. : Petrochemical studies of the alkalic rocks of the Morotu  
District, Sakhalin. Bull. Geol. Soc. Amer. 64, 769. 810, (1953)
- & Onuma, K. : The join  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaTiAl}_2\text{O}_6$  and its bearing on the  
titanaugites. J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV (Geology  
and Mineralogy), 13, 463-483, (1967)
- Voder, H. S. jr. & Tilley, C. E. : Origin of basalt magmas: An experimental study  
of natural and synthetic rock systems. J. of Petrol. 3,  
342-532, (1962)

## ANHANG

85 Gesteinsanalysen aus dem Olivinnephelinit vom Stbr. Teichelberg

1 A.....25 A 25 Gesteinsanalysen aus dem Profil AA'

1 B.....25 B 25 Gesteinsanalysen aus dem Profil BB'

1 C.....25 C 25 Gesteinsanalysen aus dem Profil CC'

2 C'.....10 C' 9 Gesteinsanalysen aus dem Profil C'C''

85 1 Gesteinsanalyse aus der Mitte einer Absonderungssäule

86 1 Gesteinsanalyse aus dem Rand einer Absonderungssäule

93 Mittelwert aus den 86 Gesteinsanalysen

|                                | 1 A    | 2 A   | 3 A   | 4 A   | 5 A   |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 40.15  | 39.12 | 39.30 | 39.25 | 39.20 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.95   | 2.97  | 2.94  | 2.94  | 2.95  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.38  | 11.25 | 11.38 | 11.36 | 11.32 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.90   | 4.99  | 4.66  | 5.99  | 5.79  |
| FeO                            | 8.03   | 9.09  | 9.22  | 8.15  | 8.26  |
| MnO                            | 0.14   | 0.14  | 0.14  | 0.13  | 0.13  |
| MgO                            | 12.07  | 11.42 | 12.09 | 12.07 | 11.90 |
| CaO                            | 12.77  | 13.29 | 12.54 | 12.62 | 12.81 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.61   | 3.63  | 3.81  | 3.61  | 3.80  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.98   | 1.17  | 1.18  | 1.00  | 1.02  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.93   | 0.94  | 0.93  | 0.92  | 0.94  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.06   | 0.96  | 1.29  | 1.43  | 1.48  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.41   | 0.24  | 0.32  | 0.43  | 0.35  |
| Summe                          | 100.38 | 99.21 | 99.80 | 99.90 | 99.95 |
|                                | 6 A    | 7 A   | 8 A   | 9 A   | 10 A  |
| SiO <sub>2</sub>               | 39.45  | 38.84 | 39.14 | 39.25 | 39.49 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.93   | 2.94  | 2.96  | 2.94  | 2.96  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.47  | 11.31 | 11.21 | 11.30 | 11.26 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.23   | 4.39  | 4.73  | 4.50  | 5.00  |
| FeO                            | 8.91   | 9.49  | 9.39  | 9.43  | 9.10  |
| MnO                            | 0.13   | 0.13  | 0.14  | 0.14  | 0.14  |
| MgO                            | 12.09  | 12.19 | 12.36 | 12.04 | 11.81 |
| CaO                            | 12.77  | 12.68 | 12.74 | 12.85 | 13.04 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.79   | 3.88  | 4.07  | 3.78  | 3.72  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.18   | 1.14  | 1.16  | 1.11  | 1.06  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.93   | 0.94  | 0.94  | 0.96  | 0.91  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0.88   | 1.07  | 0.85  | 1.30  | 1.15  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.25   | 0.24  | 0.15  | 0.21  | 0.25  |
| Summe                          | 100.01 | 99.24 | 99.84 | 99.81 | 99.89 |

|                                | 11 A  | 12 A  | 13 A   | 14 A  | 15 A  |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.07 | 39.50 | 39.65  | 39.13 | 39.00 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.98  | 3.00  | 3.01   | 2.94  | 2.93  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.38 | 11.35 | 11.69  | 11.27 | 11.31 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.45  | 4.76  | 5.39   | 4.71  | 4.51  |
| FeO                            | 9.50  | 9.36  | 8.66   | 9.39  | 9.50  |
| MnO                            | 0.13  | 0.13  | 0.14   | 0.14  | 0.14  |
| MgO                            | 12.13 | 11.65 | 11.54  | 12.36 | 12.30 |
| CaO                            | 12.87 | 12.81 | 12.90  | 12.85 | 12.94 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.65  | 3.79  | 3.92   | 3.65  | 3.83  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.08  | 1.05  | 1.17   | 1.10  | 1.04  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.94  | 0.94  | 0.94   | 0.92  | 0.94  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.25  | 0.88  | 0.88   | 0.90  | 1.14  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.43  | 0.31  | 0.15   | 0.23  | 0.28  |
| Summe                          | 99.86 | 99.53 | 100.04 | 99.59 | 99.88 |

|                                | 16 A  | 17 A  | 18 A  | 19 A  | 20 A  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 38.76 | 38.89 | 39.03 | 38.83 | 39.71 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.94  | 2.91  | 2.98  | 2.92  | 2.90  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.25 | 11.44 | 11.43 | 11.66 | 11.17 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.89  | 4.31  | 4.34  | 4.56  | 4.49  |
| FeO                            | 9.19  | 9.66  | 9.76  | 9.44  | 8.63  |
| MnO                            | 0.14  | 0.13  | 0.12  | 0.13  | 0.13  |
| MgO                            | 11.23 | 12.51 | 12.01 | 11.69 | 11.69 |
| CaO                            | 13.75 | 12.82 | 13.05 | 13.11 | 12.90 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.45  | 3.63  | 3.43  | 3.59  | 3.49  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.91  | 0.99  | 1.04  | 0.96  | 0.98  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.94  | 0.96  | 0.94  | 0.94  | 0.92  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.38  | 1.34  | 1.23  | 1.51  | 1.50  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.33  | 0.37  | 0.55  | 0.58  | 0.52  |
| Summe                          | 99.16 | 99.96 | 99.91 | 99.92 | 99.08 |

|                                | 21 A  | 22 A   | 23 A   | 24 A  | 25 A   |
|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 38.50 | 38.69  | 39.31  | 39.11 | 39.13  |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.93  | 2.97   | 2.98   | 2.98  | 2.96   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.14 | 12.45  | 11.49  | 11.41 | 11.83  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.13  | 5.04   | 5.37   | 4.90  | 5.14   |
| FeO                            | 9.40  | 9.03   | 9.26   | 9.18  | 8.98   |
| MnO                            | 0.12  | 0.13   | 0.14   | 0.13  | 0.13   |
| MgO                            | 10.93 | 11.49  | 11.31  | 11.94 | 11.95  |
| CaO                            | 13.29 | 12.85  | 12.72  | 12.72 | 13.18  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.49  | 3.43   | 4.04   | 3.63  | 3.55   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.92  | 1.01   | 1.08   | 1.04  | 0.96   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.95  | 0.94   | 0.96   | 0.94  | 0.95   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.75  | 1.43   | 1.17   | 1.27  | 1.14   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.76  | 0.74   | 0.50   | 0.60  | 0.59   |
| Summe                          | 99.31 | 100.20 | 100.33 | 99.85 | 100.49 |
|                                | 1 B   | 2 B    | 3 B    | 4 B   | 5 B    |
| SiO <sub>2</sub>               | 39.26 | 38.94  | 38.91  | 38.99 | 38.91  |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.94  | 2.93   | 2.97   | 2.94  | 2.95   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.30 | 11.38  | 11.40  | 11.38 | 11.48  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.59  | 5.27   | 4.44   | 4.60  | 4.76   |
| FeO                            | 9.48  | 8.78   | 9.65   | 9.54  | 9.31   |
| MnO                            | 0.12  | 0.12   | 0.13   | 0.14  | 0.13   |
| MgO                            | 11.78 | 11.47  | 12.28  | 12.14 | 12.02  |
| CaO                            | 13.13 | 13.24  | 12.85  | 12.42 | 12.71  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.61  | 3.72   | 3.70   | 3.56  | 3.62   |
| K <sub>2</sub> O               | 1.06  | 1.04   | 1.05   | 0.98  | 1.04   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.95  | 0.91   | 0.93   | 0.94  | 0.92   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0.90  | 1.29   | 0.97   | 1.09  | 0.91   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.48  | 0.42   | 0.43   | 0.46  | 0.40   |
| Summe                          | 99.60 | 99.51  | 99.71  | 99.18 | 99.16  |

|                                | 6 B   | 7 B   | 8 B   | 9 B    | 10 B   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.17 | 39.18 | 39.15 | 39.23  | 39.48  |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.96  | 2.98  | 2.96  | 3.00   | 2.94   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.39 | 11.41 | 11.55 | 11.42  | 11.48  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.73  | 4.94  | 4.98  | 4.53   | 4.88   |
| FeO                            | 9.39  | 9.13  | 9.14  | 9.46   | 9.22   |
| MnO                            | 0.15  | 0.15  | 0.15  | 0.14   | 0.14   |
| MgO                            | 11.58 | 12.36 | 12.17 | 12.29  | 12.40  |
| CaO                            | 12.85 | 12.56 | 12.75 | 12.81  | 12.45  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.75  | 3.79  | 3.70  | 4.23   | 3.63   |
| K <sub>2</sub> O               | 1.03  | 1.01  | 1.03  | 0.97   | 0.97   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.88  | 0.92  | 0.89  | 0.92   | 0.92   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0.88  | 0.92  | 0.95  | 0.93   | 1.03   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.58  | 0.52  | 0.25  | 0.44   | 0.51   |
| Summe                          | 99.34 | 99.87 | 99.67 | 100.37 | 100.05 |

|                                | 11 B  | 12 B  | 13 B  | 14 B   | 15 B  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.12 | 39.48 | 39.45 | 40.02  | 39.31 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.96  | 2.99  | 2.98  | 2.96   | 3.00  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.59 | 11.30 | 11.43 | 11.74  | 11.63 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.66  | 5.47  | 4.37  | 4.08   | 5.23  |
| FeO                            | 8.22  | 8.63  | 9.51  | 10.02  | 8.59  |
| MnO                            | 0.13  | 0.15  | 0.14  | 0.14   | 0.15  |
| MgO                            | 12.93 | 11.93 | 11.40 | 11.50  | 11.68 |
| CaO                            | 12.21 | 12.84 | 13.05 | 12.84  | 12.78 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.55  | 3.72  | 3.74  | 3.74   | 3.72  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.94  | 1.10  | 0.99  | 1.13   | 1.04  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92  | 0.92  | 0.91  | 0.92   | 0.93  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.38  | 0.90  | 1.32  | 1.06   | 1.01  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.65  | 0.19  | 0.37  | 0.27   | 0.51  |
| Summe                          | 99.82 | 99.62 | 99.66 | 100.42 | 99.58 |

|                                | 16 B  | 17 B  | 18 B  | 19 B  | 20 B  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.31 | 39.56 | 39.65 | 39.43 | 39.55 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.99  | 2.98  | 2.99  | 2.97  | 2.97  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.62 | 11.61 | 11.50 | 11.68 | 11.95 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.47  | 5.12  | 6.61  | 6.05  | 6.16  |
| FeO                            | 8.58  | 8.79  | 7.70  | 7.94  | 8.12  |
| MnO                            | 0.15  | 0.13  | 0.13  | 0.13  | 0.12  |
| MgO                            | 10.85 | 10.53 | 11.10 | 10.96 | 10.48 |
| CaO                            | 12.88 | 13.24 | 12.74 | 12.82 | 12.97 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.85  | 3.53  | 3.78  | 3.80  | 3.66  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.95  | 0.93  | 1.03  | 1.00  | 1.00  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.93  | 0.92  | 0.93  | 0.93  | 0.94  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.37  | 1.19  | 1.14  | 1.26  | 1.32  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.91  | 0.67  | 0.58  | 0.45  | 0.58  |
| Summe                          | 99.86 | 99.20 | 99.88 | 99.42 | 99.82 |

|                                | 21 B  | 22 B  | 23 B  | 24 B   | 25 B  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.06 | 38.58 | 38.94 | 39.05  | 39.21 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.95  | 3.01  | 2.97  | 2.97   | 2.97  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.25 | 11.48 | 11.45 | 11.47  | 11.60 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.82  | 4.39  | 6.17  | 5.93   | 5.73  |
| FeO                            | 9.13  | 9.18  | 8.78  | 8.35   | 8.22  |
| MnO                            | 0.14  | 0.14  | 0.13  | 0.13   | 0.14  |
| MgO                            | 11.67 | 12.46 | 11.30 | 12.02  | 11.86 |
| CaO                            | 13.03 | 13.18 | 12.55 | 12.96  | 12.64 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.73  | 3.66  | 3.75  | 3.76   | 3.62  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.98  | 1.11  | 1.02  | 1.07   | 0.98  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92  | 0.95  | 0.92  | 0.93   | 0.92  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.14  | 1.05  | 1.12  | 1.02   | 1.36  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.51  | 0.72  | 0.58  | 0.49   | 0.57  |
| Summe                          | 99.33 | 99.91 | 99.68 | 100.15 | 99.82 |

|                                | 1 C   | 2 C   | 3 C   | 4 C   | 5 C   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.27 | 39.36 | 39.57 | 39.13 | 39.00 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.90  | 2.86  | 2.86  | 2.84  | 2.96  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.52 | 11.53 | 11.45 | 11.54 | 11.24 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.63  | 5.08  | 5.33  | 5.60  | 5.33  |
| FeO                            | 9.32  | 9.00  | 8.55  | 8.34  | 9.32  |
| MnO                            | 0.12  | 0.13  | 0.12  | 0.14  | 0.14  |
| MgO                            | 12.76 | 11.34 | 12.04 | 11.73 | 12.02 |
| CaO                            | 12.14 | 12.33 | 12.65 | 12.93 | 12.83 |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.24  | 3.59  | 4.18  | 3.61  | 4.13  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.02  | 0.95  | 0.96  | 1.07  | 0.98  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.91  | 0.91  | 0.92  | 0.94  | 0.90  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.23  | 1.13  | 1.04  | 1.35  | 1.16  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.50  | 0.33  | 0.51  | 0.45  | 0.41  |

|       |        |        |        |       |        |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Summe | 100.66 | 100.25 | 100.22 | 99.67 | 100.42 |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|

|                                | 6 C   | 7 C   | 8 C   | 9 C   | 10 C  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 38.99 | 38.94 | 39.07 | 39.16 | 39.42 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.96  | 2.97  | 3.07  | 2.99  | 2.96  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.26 | 11.53 | 11.63 | 11.65 | 11.39 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.90  | 5.33  | 4.73  | 4.33  | 4.99  |
| FeO                            | 9.24  | 8.53  | 9.39  | 9.55  | 9.11  |
| MnO                            | 0.13  | 0.13  | 0.13  | 0.13  | 0.13  |
| MgO                            | 11.97 | 11.74 | 11.81 | 12.47 | 12.13 |
| CaO                            | 12.69 | 12.63 | 12.75 | 12.64 | 12.56 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.86  | 4.11  | 3.90  | 3.33  | 4.06  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.92  | 0.94  | 0.95  | 1.14  | 1.09  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.89  | 0.92  | 0.96  | 0.91  | 0.96  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.33  | 1.38  | 1.21  | 0.95  | 1.21  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.40  | 0.50  | 0.35  | 0.33  | 0.35  |

|       |       |       |       |       |        |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Summe | 99.54 | 99.75 | 99.96 | 99.61 | 100.36 |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|

|                                | 11 C  | 12 C  | 13 C  | 14 C  | 15 C  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.45 | 39.22 | 40.03 | 39.10 | 38.95 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.96  | 2.98  | 2.99  | 2.98  | 2.96  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.67 | 11.81 | 11.43 | 11.48 | 11.75 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.39  | 4.20  | 4.22  | 4.52  | 5.07  |
| FeO                            | 8.56  | 9.90  | 9.83  | 9.58  | 8.94  |
| MnO                            | 0.13  | 0.13  | 0.14  | 0.14  | 0.13  |
| MgO                            | 12.17 | 12.24 | 12.37 | 11.04 | 12.75 |
| CaO                            | 12.71 | 12.64 | 12.98 | 12.74 | 13.00 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.52  | 4.10  | 3.65  | 4.01  | 3.56  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.01  | 0.98  | 1.02  | 1.06  | 0.83  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92  | 0.94  | 0.92  | 0.91  | 0.88  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.16  | 1.12  | 0.91  | 1.11  | 1.19  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.41  | 0.43  | 0.32  | 0.44  | 0.55  |

|       |        |        |        |       |        |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Summe | 100.06 | 100.69 | 100.81 | 99.11 | 100.56 |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|

|                                | 16 C  | 17 C  | 18 C  | 19 C  | 20 C  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.10 | 39.05 | 38.87 | 39.03 | 38.61 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.99  | 2.98  | 2.96  | 2.95  | 2.95  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.21 | 11.25 | 11.41 | 11.59 | 11.69 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.08  | 4.29  | 5.71  | 5.40  | 5.40  |
| FeO                            | 9.00  | 9.68  | 8.39  | 8.80  | 8.67  |
| MnO                            | 0.12  | 0.13  | 0.12  | 0.13  | 0.13  |
| MgO                            | 12.59 | 12.53 | 12.29 | 12.63 | 12.01 |
| CaO                            | 12.97 | 12.65 | 12.77 | 12.74 | 12.80 |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.21  | 3.83  | 3.94  | 3.98  | 3.78  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.04  | 1.01  | 1.02  | 1.09  | 1.04  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92  | 0.92  | 0.95  | 0.92  | 0.93  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.04  | 1.03  | 1.14  | 0.83  | 1.15  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.58  | 0.58  | 0.69  | 0.51  | 0.46  |

|       |        |       |        |        |       |
|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Summe | 100.85 | 99.93 | 100.26 | 100.60 | 99.80 |
|-------|--------|-------|--------|--------|-------|

|                                | 21 C   | 22 C   | 23 C   | 24 C   | 25 C   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.42  | 39.29  | 39.23  | 39.18  | 39.55  |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.95   | 3.00   | 2.95   | 2.97   | 2.95   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.93  | 11.58  | 11.92  | 11.71  | 11.25  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.42   | 5.17   | 5.91   | 5.12   | 6.02   |
| FeO                            | 9.51   | 8.90   | 8.16   | 8.96   | 8.10   |
| MnO                            | 0.13   | 0.13   | 0.13   | 0.10   | 0.12   |
| MgO                            | 12.23  | 12.41  | 12.69  | 12.98  | 11.69  |
| CaO                            | 12.89  | 12.69  | 12.50  | 12.48  | 13.06  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.69   | 3.91   | 3.68   | 3.84   | 3.69   |
| K <sub>2</sub> O               | 1.02   | 1.05   | 0.98   | 1.11   | 0.95   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92   | 0.93   | 0.92   | 0.93   | 0.92   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.05   | 1.10   | 1.13   | 1.07   | 1.17   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.34   | 0.41   | 0.42   | 0.37   | 0.73   |
| Summe                          | 100.50 | 100.57 | 100.62 | 100.82 | 100.20 |

|                                | 2 C'  | 3 C'  | 4 C'  | 5 C'  | 6 C'  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.61 | 40.07 | 39.77 | 39.87 | 39.83 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.99  | 3.01  | 2.98  | 2.97  | 2.98  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.86 | 11.98 | 11.76 | 11.81 | 11.91 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.89  | 4.73  | 5.33  | 5.06  | 4.75  |
| FeO                            | 8.10  | 8.70  | 8.40  | 8.60  | 8.85  |
| MnO                            | 0.20  | 0.22  | 0.23  | 0.17  | 0.16  |
| MgO                            | 11.53 | 11.29 | 11.68 | 11.57 | 11.70 |
| CaO                            | 13.25 | 12.32 | 12.79 | 12.03 | 12.16 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.96  | 3.83  | 3.63  | 3.87  | 3.76  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.05  | 0.91  | 0.92  | 0.98  | 0.98  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92  | 0.90  | 0.91  | 0.90  | 0.90  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.12  | 1.21  | 1.14  | 1.28  | 1.23  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.30  | 0.32  | 0.39  | 0.37  | 0.25  |
| Summe                          | 99.78 | 99.49 | 99.93 | 99.48 | 99.46 |

|                                | 7 C'  | 8 C'  | 9 C'  | 10 C'  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.39 | 40.32 | 39.86 | 40.33  |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.94  | 3.00  | 2.98  | 2.98   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11.79 | 11.68 | 12.20 | 12.13  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.06  | 5.07  | 4.44  | 4.75   |
| FeO                            | 8.65  | 8.55  | 8.50  | 8.30   |
| MnO                            | 0.16  | 0.20  | 0.15  | 0.18   |
| MgO                            | 12.33 | 11.44 | 11.71 | 12.10  |
| CaO                            | 12.01 | 12.03 | 12.71 | 12.74  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.73  | 3.69  | 3.62  | 3.96   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.94  | 1.02  | 0.99  | 0.93   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.90  | 0.92  | 0.91  | 0.92   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.39  | 1.40  | 1.35  | 1.12   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.39  | 0.48  | 0.32  | 0.31   |
| Summe                          | 99.68 | 99.80 | 99.64 | 100.75 |

85

86

93

|                                |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.57 | 39.60 | 39.28 |
| TiO <sub>2</sub>               | 3.00  | 3.00  | 2.96  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.07 | 11.92 | 11.54 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.91  | 5.92  | 5.05  |
| FeO                            | 8.30  | 8.25  | 8.95  |
| MnO                            | 0.20  | 0.21  | 0.13  |
| MgO                            | 11.05 | 11.31 | 11.90 |
| CaO                            | 12.10 | 12.01 | 12.77 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.75  | 3.80  | 3.76  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.00  | 1.07  | 1.02  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.94  | 0.94  | 0.92  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.27  | 1.30  | 1.19  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.20  | 0.20  | 0.38  |
| Summe                          | 99.36 | 99.53 | 99.85 |

# L e b e n s l a u f

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name       | Noussinanos Theofanis                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Geboren am | 3. 2. 1940                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| in         | Plession, Thesprotia, Griechenland                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Eltern     | Athanasios Noussinanos, Konditormeister,<br>Eleni geb. Skagia                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Schulen    | 1947 bis 1953 Volksschule in Plession<br>1953 bis 1959 II, Knaben Gymnasium in Korfu                                                                                                                                                                                                                                     |
| Studium    | Sommersemester 1961 bis Wintersemester 1962 / 63<br>Physik an der Universität München.<br>Sommersemester 1963 bis Wintersemester 1968 / 69<br>Geologie an der Universität München.<br>Mai 1965 Diplomgeologen - Vorprüfung<br>Dezember 1968 Diplomgeologen - Hauptprüfung<br>Seit August 1969 Arbeit an der Dissertation |
| Berufsweg  | September 1969 bis März 1973 wissenschaftlicher<br>Mitarbeiter am Mineralogisch - Petrographischem<br>Insitut der Universität München.                                                                                                                                                                                   |



